UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
FACOLTÀ DI AGRARIA

Dipartimento di Geologia e Ingegneria Meccanica, Naturalistica e Idraulica per il Territorio (GEMINI)

Dottorato di Ricerca in Meccanica Agraria XIX Ciclo

VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AGLI INQUINANTI AERODISPERSI, DURANTE L'UTILIZZO DELLE ATTREZZATURE PORTATILI

Settore Scientifico AGR/09

Coordinatore

Prof. Ing. Danilo Monarca

Tutor

Dott. Massimo Cecchini

Dottorando

Massimiliano Bernini

Dedicata agli operai, alle casalinghe, agli impiegati, ai professori,

ai liberi professionisti e a tutti coloro che lavorano duramente,

con il sudore della propria fronte...

Sommario

Introduzione

La presente sperimentazione nasce in seno all'attività di ricerca del Laboratorio di Ergonomia e Antinfortunistica, afferente al Dipartimento GEMINI[1] (Geologia e Ingegneria Meccanica, Idraulica Naturalistica per il Territorio) della Facoltà di Agraria dell'Università della Tuscia che, come si evince dall'intestazione, opera prevalentemente nell'ambito della sicurezza e igiene del lavoro, in special modo nel settore agro-forestale.

I settori studiati da questo ente, sono quello della sicurezza delle macchine e delle attrezzature impiegate in agricoltura e in selvicoltura, quello relativo all'ergonomia, e cioè quello relativo al rapporto tra uomo (lavoratore) e macchina oppure quanto concerne l'interazione tra lavoratore e lavoro stesso, intesa come analisi di tutte le variabili in gioco, quali ad esempio gli aspetti microclimatici, i fattori di stress fisico e mentale che possono insorgere etc.

Data la recente importanza che ricoprono le problematiche dell'inquinamento e delle fonti energetiche, alternative ai combustibili fossili, l'attività di ricerca Dipartimentale, abbraccia anche l'analisi o lo studio delle biomasse residuali e non, derivanti dall'attività agricola e forestale, e da impiegare per finalità energetiche, nonché delle tecnologie più idonee per la loro valorizzazione (impianti cogenerativi e di gassificazione, teleriscaldamento etc.).

Ritornando all'attività principale del Dipartimento e cioè quella dalla "Sicurezza e Igiene del Lavoro", è da considerare il fatto che il settore dell'Agricoltura è da questo punto di vista, ancora un ambito lavorativo a forte rischio sia dal punto di vista della salute dell'operatore sia dal punto di vista della sicurezza.

I rischi per la salute dell'operatore riguardano tutto ciò che possa determinare l'insorgenza di malattie, dovute all'esposizione continuativa sul posto di lavoro, di agenti di

[1] Nelle persone del Responsabile per la ricerca Prof.Ing Danilo Monarca e del Ricercatore Dott. Massimo Cecchini

varia natura (fisica, chimica e biologica). Nella fattispecie, sono un esempio il rischio di contrarre più o meno gravi forme di pneumoconiosi per inalazione d polveri, oppure le tecnopatie di origine vascolare e non (sindrome della mano bianca o di Raynoud) causate dall'esposizione continuativa alle vibrazioni emesse da macchine e attrezzature e ancora, l'insorgenza di ipoacusie da esposizione prolungato e continuativo al rumore di macchine o impianti.

Si definisce invece, rischio per la sicurezza, tutto ciò che determina la manifestazione di infortuni più o meno gravi ai danni del lavoratore o dei lavoratori, e che nei casi più estremi, possono causarne anche la morte.

Anche se ormai è trascorso più di un decennio da quando è stata promulgata la più importante legge italiana sulla salute e sicurezza del lavoro, e cioè il D.Lgs. numero 626 del 19 settembre del 1994 il numero delle "morti bianche", degli incidenti sul lavoro e delle malattie di origine professionale non sembrano ridursi, anzi, nell'epoca in cui si realizza il presente lavoro, il numero dei casi di incidenti e soprattutto di morti, sembra subire una recrudescenza.

I settori che da questo punto di vista presentano le maggiori problematiche, com'era d'altronde prevedibile, sono quello dell'edilizia e quello dell'agricoltura. Le ragioni di ciò sono diverse ed articolate, e sicuramente non'è questa la sede per discuterne, tuttavia alcune di queste sono da ricercarsi nella commistione tra scarsi controlli e preparazione degli organi deputati a farlo (ASL, Ispettorato del lavoro, etc), poca chiarezza legislativa delle norme riguardanti la sicurezza e l'igiene del lavoro, scarsa consapevolezza da parte dei datori di lavoro dell'importanza della materia "sicurezza", che troppo spesso da quest'ultimi viene vista come un'ulteriore balzello economico ed operativo, il quale deve essere assolto (o risolto) con il minor "spreco" di tempo e di risorse economiche ed umane.

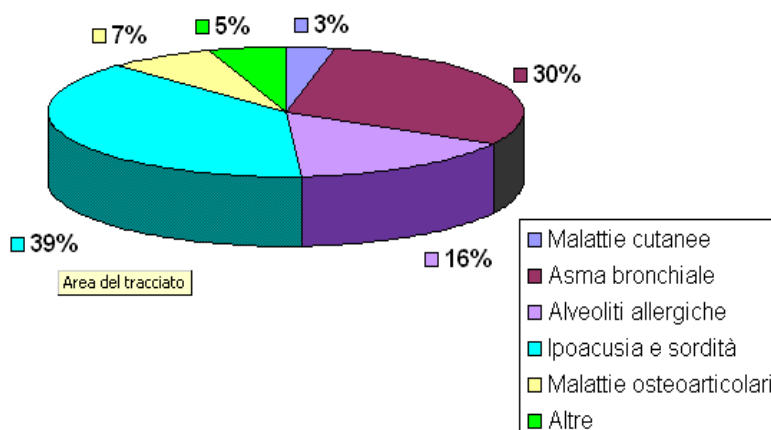



Figura 1 Malattie professionali in agricoltura

Un altro atteggiamento osservato durante le varie esperienza in campo, sia da parte dei dipendenti, sia da parte dei datori di lavoro, è quello dell'omertà o dalla paura di parlare degli aspetti della sicurezza, ai tecnici della sicurezza, che nella maggior parte dei casi sono nominati da loro stessi, per far fronte agli obblighi di legge, forse a causa del timore di doversi sobbarcare ulteriori oneri. Il consulente insomma, non'è visto come colui che "vuole rendere il lavoro più sicuro e confortevole per gli addetti", ma come un ingerente negli interessi aziendali. Per questa ragione è necessaria anche un azione politica di promozione su scala nazionale della sicurezza e dell'igiene in ambito lavorativo, anche attraverso l'incentivazione delle misure di salvaguardia e sicurezza degli operatori.

Ritengo infine, in un epoca di forti incertezze mondiali, che il vero elemento di progresso della civiltà occidentale, non stia solo nell'aumento delle conoscenze tecnologiche che tuttavia sempre di più sono poste in controluce rispetto a quelle delle economie emergenti (Cina, India, etc.), ma in quello del rispetto e della salvaguardia della dignità dell'uomo; il progresso sociale ed umano, inteso come uguaglianza e giustizia tra gli individui, sono le uniche "materie prime" che l'Europa e l'Occidente possiedono e che

possono e devono essere esportare, per il bene dell'intera umanità. Non è forzato ammettere che la normativa sulla sicurezza del lavoro, che garantisce a tutti gli individui un ambiente di lavoro sicuro e confortevole, è appunto frutto di questo progresso sociale ed umano che non deve essere arrestato, per non cadere nelle forme neo-schiaviste.

Obiettivi della sperimentazione

In Agricoltura, ed in modo particolare nel settore Forestale, trovano larga applicazione le attrezzature portatili, quali motoseghe, decespugliatore, etc. impiegate appunto durante gli interventi di utilizzazione[2] *ma anche di manutenzione del verde pubblico urbano e periurbano*[3]*.*

Nel settore delle Utilizzazioni Forestali, anche dopo l'avvento di macchine e sistemi all'avanguardia, la motosega rimane la macchina principale con cui eseguire gli abbattimenti ed anche le operazioni sramatura dei tronchi e di sezionatura del legname nei vai assortimenti.

La ragione di ciò, dipende da alcuni fattori: in prima analisi dall'orografia del territorio italiano. Questo infatti è caratterizzato da una importante acclività, ancora più accentuata nei territori boscati, visto che i boschi planiziari e collinari ormai da tempo hanno lasciato il posto ai terreni agricoli. Per questo, le macchine di cui prima, che mal si adattano a pendenze superiori al 20-30%, trovano da noi scarso interesse, se non limitatamente ad alcune piantagioni da arboricoltura da legno.

In seconda istanza, le imprese boschive italiane sono inquadrabili per lo più in aziende artigiane medio piccole, e quindi molto spesso non sono in grado di sobbarcarsi le spese di acquisto, ammortamento e di gestione di queste macchine.

---

[2] Si definisce *Utilizzazione Forestale*, l'insieme complesso di procedure miranti all'abbattimento degli alberi per finalità produttive. Essa si compone delle fasi di abbattimento, allestimento (sramatura e sezionatura), concentramento del legname sulle piste forestali ed esbosco, cioè il trasporto del legname fino all'imposto o luogo dove poi il legname è caricato su camion, e quindi destinato ai luoghi di utilizzazione veri e propri.

[3] Per la definizione di *Manutenzione del Verde Urbano e Periurbano*, si veda il Paragrafo 5.2

Alla base della loro scarsa convenienza, c'è poi anche la natura della struttura organizzativa e della composizione del capitale legnoso, delle aziende forestali. Per quanto riguarda la proprietà di boschi e foreste infatti, risulta essere per il (46%) di proprietà privata e per la restante parte, di proprietà pubblica ed in prevalenza comunale (ISTAT, 1996). Le imprese private sono poi estremamente frammentate e di estensione ridotta.

In Italia poi, la superficie forestale è caratterizzata prevalentemente da boschi di latifoglie, piuttosto che conifere e per di più a governo ceduo, che rendono l'applicazione degli Harvester e simili, piuttosto difficile (queste macchine infatti presentano produttività considerevoli solo in presenza di tronchi perfettamente cilindrici, come quelli delle conifere). Inoltre, la selvicoltura italiana è incentrata prevalentemente sulla produzione di legname di basso pregio o addirittura per finalità energetiche (boschi cedui), e pertanto con materiale retraibile poco remunerativo, che non giustifica l'applicazione di una meccanizzazione "spinta".

Tipologie	*Superficie ha*
Fustaie di conifere	1.602.571
Fustaie di latifoglie	1.154.437
Fustaie miste	359.871
Cedui semplici	2.833.826
Cedui composti	783.646
Altre foreste e boschi	266.244

Tabella 1 Superficie coperta dalle varie tipologie di foreste e di boschi[4]

Per queste ragioni la "macchina" più largamente diffusa nell'ambito delle utilizzazioni forestali, rimane ancora oggi la motosega e meno di frequente il decespugliatore con lama a disco. Per quanto concerne la manutenzione del verde in città e in periferia, valgono grossomodo le stesse premesse, e perciò anche in questo settore, la motosega ed il decespugliatore costituiscono le macchine maggiormente impiegate.

[4] ISTAT. 1996. Annuario di statistiche forestali. Roma: ISTAT

L'adozione della motosega per l'abbattimento degli alberi, ha avuto luogo all'incirca nei primi anni '50, e sicuramente ha apportato indubbi benefici rispetto l'impiego degli attrezzi fino allora impiegati (prevalentemente seghe a mano, scure, etc.). Ma come ogni innovazione, se da un lato apporta dei vantaggi in termini di aumento di produttività e di riduzione dello sforzo, dall'altro canto ha determinato l'insorgenza di alcune problematiche fino allora sconosciute presso i "boscaioli" e cioè nei confronti di coloro che fanno della macchina un uso professionale (8 ore al giorno).

Queste problematiche e le misure necessarie al loro contenimento, sono state studiate in modo sistematico ed organico, per la prima volta, all'inizio degli anni '60, negli Stati Uniti. Le indagini hanno perciò dimostrato l'insorgenza, presso coloro che hanno utilizzato e utilizzano queste attrezzature portatili, di alcune malattie dovute all'esposizione ad agenti fisici, quali il rumore e le vibrazioni.

Infatti, secondo gli studi portati avanti anche dal nostro ente, la quantità di rumore emesso dalle attrezzature, può superare i 90 dB(A), ponendo l'operatore a grave rischio per l'insorgenza di ipoacusie[5].

Le vibrazioni che si scaricano sul sistema mano braccio, a loro volta, causano danni irreversibili al sistema circolatorio periferico delle mani (rottura dei capillari), con il manifestarsi della sindrome di Raynoud[6] o malattia delle "dita bianche" o "white fingers".

Per far fronte a ciò, nel corso degli anni, sia a livello nazionale che europeo, nonché nell'ambito di alcuni enti di studio delle problematiche concernenti la sicurezza e l'igiene del lavoro, sono state promulgate una serie di norme atte a regolamentare l'esposizione del lavoratore a questi fattori fisici, nonché a limitare anche, il manifestarsi di incidenti gravi, data anche la notevole pericolosità intrinseca di queste attrezzature (sono dotate infatti di organi taglienti e roventi).

---

[5] L'ipoacusia è una diminuzione della capacità uditiva dovuta a lesioni dell'orecchio medio o dell'orecchio interno

[6] E'dimostrato che si manifesta nel 30÷40% delle persone esposte a vibrazioni con accelerazioni medie di 6,25 m/s^2 per 8 ore al giorno e per 10 anni di lavoro

Tra le leggi più importanti, promulgate dall'inizio degli anni '80, ricordiamo in ordine cronologico:

- *D.Lgs. 277/91 e successivamente sostituito dal 195 del 2004, etc.;*
- *Il D.Lgs. 626 del 1994;*
- *DPR 459/96;*
- *D.Lgs. 187 del 2005 concernente l'esposizione alle vibrazioni;*
- *Norme tecniche sicurezza delle attrezzature;*
- *Etc.*

Appare evidente quindi che dal punto di vista degli agenti fisici generati da queste attrezzature, molto è stato studiato e scritto, ma risulta essere invece carente, la bibliografia riguardante il rischio chimico da esse generato.

Infatti, il danno sia temporaneo che cronico derivante dall'inalazione dei gas di scarico delle motoseghe e dei decespugliatori è stato finora considerato solamente in termini molto generici, o peggio, paragonato a quello riscontrabile in altre situazioni di lavoro che coinvolgono l'uso di attrezzi a motore guidati a mano (rasaerba, motozappatrici, etc.). Nessuna o poca considerazione è stata attribuita alle caratteristiche peculiari del lavoro svolto con queste attrezzature, che ad esempio nel caso dell'attività in bosco, presenta un notevole affaticamento dell'operatore, caratterizzato da respirazione accelerata (ritmo respiratorio di 60 litri al minuto) e contatto con la macchina ben più prolungato che in altri lavori. Inoltre, l'uso di queste macchine espone, il soggetto direttamente ad inquinanti aerodispersi, la cui composizione è caratterizzata sia dai gas prodotti durante la combustione, sia dalla frazione di miscela non combusta ed espulsa con i residui di quest'ultima che nei motori a due tempi è pari al 30%[7] circa, della miscela inizialmente impiegata.

[7] Cavalli R. Menegus G., Esposizione ad agenti chimici nell'impiego della motosega – soluzioni tecniche ed organizzative. Giornale degli Igienisti Industriali – vol.23 – n.4 – ottobre 1998.

Che la necessità di una tale valutazione sia concreta e non frutto di una mera forzatura, si rende evidente qualora si discuta direttamente con i "soggetti a rischio". Nel corso delle esperienze in campo, infatti, molto spesso si è sentito dire, che da quando è avvenuto il passaggio dalla benzina rossa a quella verde, il rientro a casa, dopo una giornata di duro lavoro, è caratterizzato da un sapore dolciastro e nauseabondo all'interno del cavo orale.

Figura 2 Esempio di abbondante emissione di gas di scarico durante l'uso della motosega

L'impiego della benzina verde (la rossa è fuori legge dalla fine dell'anno 2001) si è reso necessario per finalità "ecologiche", e cioè per ridurre l'inquinamento prodotto dagli autoveicoli, ma purtroppo non sono stati considerati gli effetti per coloro che utilizzano macchine mobili non stradali[8].

Si rammenta infatti, che nella benzina verde (a differenza della benzina rossa super e normale), è presente in quantità importanti il famigerato benzene[9], agente cancerogeno i cui effetti sull'organismo sono noti a tutti[10].

Pertanto, alla luce di questo problema, a livello di legislazione europea e statunitense (EPA[11]), sono state promulgate una serie di leggi aventi lo scopo di regolamentare le

---

[8] Secondo la norma tecnica, sono tutte le attrezzature portatili
[9] Secondo lo *IARC* (*Agenzia Internazionale per la Ricerca del Cancro*) il *benzene* è una sostanza cancerogena di classe "I"
[10] Confronta il Capitolo 3

emissioni massime per i diversi agenti inquinanti, contenuti nei gas di scarico delle macchine mobili non stradali (motoseghe, decespugliatori, rasaerba etc.), tra cui la diretta 97/68/CE successivamente modificata dalla 2002/88/CE. Questa norma tuttavia tratta il problema da un punto di vista "ambientale" e non dell'esposizione professionale.

Per quanto concerne invece quest'ultimo aspetto, attualmente non esiste una normativa specifica, ma ci si riferisce all'Art.4 del D.Lgs. 626 del 1994, che obbliga il datore di lavoro alla valutazione del rischio chimico nella propria attività e al D.Lgs. n.66 del 2000 che stabilisce il limiti per la concentrazione del benzene.

Tuttavia, sono stati considerati ai fini della valutazione, anche i limiti proposti da alcuni enti internazionali che operano nell'ambito della sicurezza e igiene del lavoro.

Pertanto, gli obiettivi della seguente sperimentazione, si possono riassumere nei seguenti punti:

1. *Valutare se la concentrazione degli inquinanti contenuti nei gas di scarico delle motoseghe e decespugliatori, rispetta i limiti della direttiva europea 2002/88/CE, anche con l'alimentazione a miscele ecologiche;*
2. *Valutare l'esposizione professionale agli inquinanti aerodispersi emessi dalle suddette attrezzature, durante le attività di utilizzazione forestale e manutenzione del verde pubblico e privato, condotte presso alcuni cantieri nella Provincia di Viterbo.*

Nel corso dei capitoli e paragrafi successivi, verranno menzionati i materiali e i metodi della sperimentazione.

---

[11] *Environmental Protection Agency*, agenzia per la protezione dell'ambiente (USA)

Capitolo 1. Le attrezzature portatili

Si definiscono attrezzature portatili tutte quelle macchine che, *con o senza carrozzeria, non siano destinate al trasporto di mezzi o passeggeri e su cui sia montato un motore a combustione interna*[12]. Ne fanno parte le motoseghe e decespugliatori.

Le motoseghe e i decespugliatori trovano applicazione nella prima fase delle utilizzazioni forestali e cioè in quella riguardante l'abbattimento e l'allestimento delle piante, ma anche per gli interventi di sfollo e decespugliamento (migliore in questo caso risulta essere l'utilizzo del decespugliatore) e cure colturali.

Nella manutenzione del verde invece, l'impiego della motosega è previsto per la potature degli alberi[13], per abbattimenti di alberi e sfolli, mentre il decespugliatore è indicato prevalentemente per lo sfalcio dell'erba, decespugliamneto e abbattimenti di alberi di piccole dimensioni (diametro massimo al colletto di 15÷16 cm, anche se è preferibile 6 cm, per rendere più speditivi l'intervento).

Gli interventi eseguiti con questa tipologia di macchine sono definiti "semimeccanizzati", visto che le attrezzature impiegate sono sorrette direttamente da un operatore.

1.1 La Motosega

Il mercato offre una vasta gamma di marche e modelli di motoseghe, aventi varie potenze e caratteristiche. In base alla norma tecnica ISO 6532:1993 ,sono classificate secondo la cilindrata e la lunghezza della barra di taglio, come riportato nella tabella seguente.

[12] Direttiva 97/68/CE modificata dalla Direttiva 2002/88/CE, di cui all'Art.2 – Definizioni
[13] Per questa tipologia di interventi sono adottate motoseghe leggere che possono essere impugnate con una mano.

Classe	Cilindrata del motore	Potenza del motore	Lunghezza della barra	Massa
	cm^3	kW	m	kg
Leggera	30 - 50	1,5 - 2,5	0,25 - 0,35	3 - 6
Media	50 - 75	2,5 - 3,9	0,35 - 0,50	5 - 7
Pesante	75 - 100	3,9 - 5,1	0,50 - 0,70	7 - 10

Tabella 2 Classificazione delle motoseghe

Ad ogni categoria corrisponde la tipologia di lavoro che può essere svolta, allo scopo di poter scegliere in modo razionale la motosega più adatta al lavoro da compiere. Infatti è controproducente adoperare macchine di grossa cilindrata, perciò pesanti, con spranghe di taglio eccessivamente lunghe, qualora il lavoro non lo richieda tassativamente.

Di fronte alla necessità di dover scegliere se usare una motosega o un decespugliatore nell'eseguire degli abbattimenti, è noto che, qualora le sezioni di legno da tagliare siano superiori a 8÷10 cm, è preferibile l'impiego della prima macchina rispetto la seconda.

La motosega risulta essere costituita dalle seguenti parti:

1. Telaio e carrozzeria;
2. Motore;
3. Trasmissione;
4. Organo di taglio.

1.1.1 Telaio e carrozzeria

Il telaio è costituito da una struttura rigida collegata a due maniglioni, di cui uno di sostegno e l'altro di guida durante la lavorazione.

Il primo lo troviamo sistemato nella parte superiore della macchina ed è contenuto in un piano verticale passante per il baricentro; in questo modo, la motosega durante lo spostamento risulta essere ben bilanciata. Il secondo invece, è collocato in posizione opposta alla barra di taglio e viene impugnato dall'operatore per direzionare e comandare la macchina durante il suo funzionamento (Figura 3).

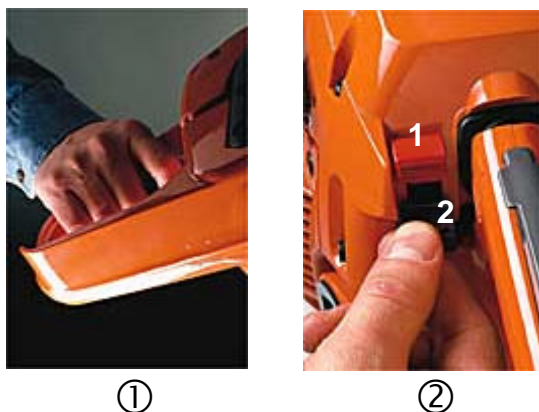
Il gruppo motore-trasmissione-organo di taglio, è collegato al telaio tramite dei supporti, generalmente in gomma speciale[14] che riducono la trasmissione delle vibrazioni al sistema mano-braccio dell'operatore.

1 impugnatura d'avviamento
2 leva di sicurezza
3 acceleratore
4 impugnatura anteriore
5 paramano
6 impugnatura di comando
7 barra di taglio

Figura 3 Parti salienti di una motosega

La carrozzeria è realizzata in materiale plastico ed è priva di sporgenze o di asperità che possano ferire direttamente l'operatore o rappresentare facili appigli a corpi estranei.

Inoltre ha il compito di isolare la marmitta, proteggendo così l'operatore dalle parti roventi; realizza inoltre una massa inerziale antagonista che riduce ulteriormente le vibrazioni ed è inferiormente piana in modo da consentire la perfetta stabilità della macchina quando questa viene poggiata sul terreno.

[14] Conosciuti anche col nome di A.V. o antivibranti, o *Silent Block*

①Scudo paramano dell'impugnatura di comando

②Pulsante di *STOP* (1) e leva dello *STARTER* (2) o dell'*Aria*

Figura 4 Impugnatura di comando della motosega

1.1.2 Motorizzazione

Le motoseghe che lavorano in bosco adottano motori a combustione interna, monocilindrici, a due tempi con raffreddamento ad aria. Questo tipo di motore presenta diverse qualità come la leggerezza, la compattezza, la notevole semplicità costruttiva e l'elevata affidabilità, mentre di contro presenta consumi elevati e modesti rendimenti globali[15].

Il motore della motosega lavora a pieno carico durante il taglio per brevi periodi di tempo ed è caratterizzato da un rapporto corsa/alesaggio minore dell'unità e da elevati rapporti di compressione. Quindi le potenze specifiche sono elevate mentre la durata supera difficilmente le 2000 ore (circa due anni).

Il numero di giri può superare i 10.000 giri/min determinando elevate sollecitazioni meccaniche e termiche agli organi in movimento. Anche per questa ragione, la vita utile della macchina è piuttosto limitata.

[15] Confronta il Paragrafo 2.2.2

Il raffreddamento del motore è ottenuto attraverso la circolazione forzata che investe le alettature che sono ricavate sulla superficie esterna del cilindro. In linea di massima, si può affermare che il peso di una motosega completa dei suoi accessori (espresso in daN) è dell'ordine di 1/8 della sua cilindrata, mentre la potenza massima erogabile (espressa in kW) è compresa tra il 40÷50% del suo peso.

Gli altri organi del motore della motosega sono il carburatore a membrana che consente alla macchina di operare in qualsiasi posizione e l'impianto di accensione di tipo tradizionale a camma o elettronico.

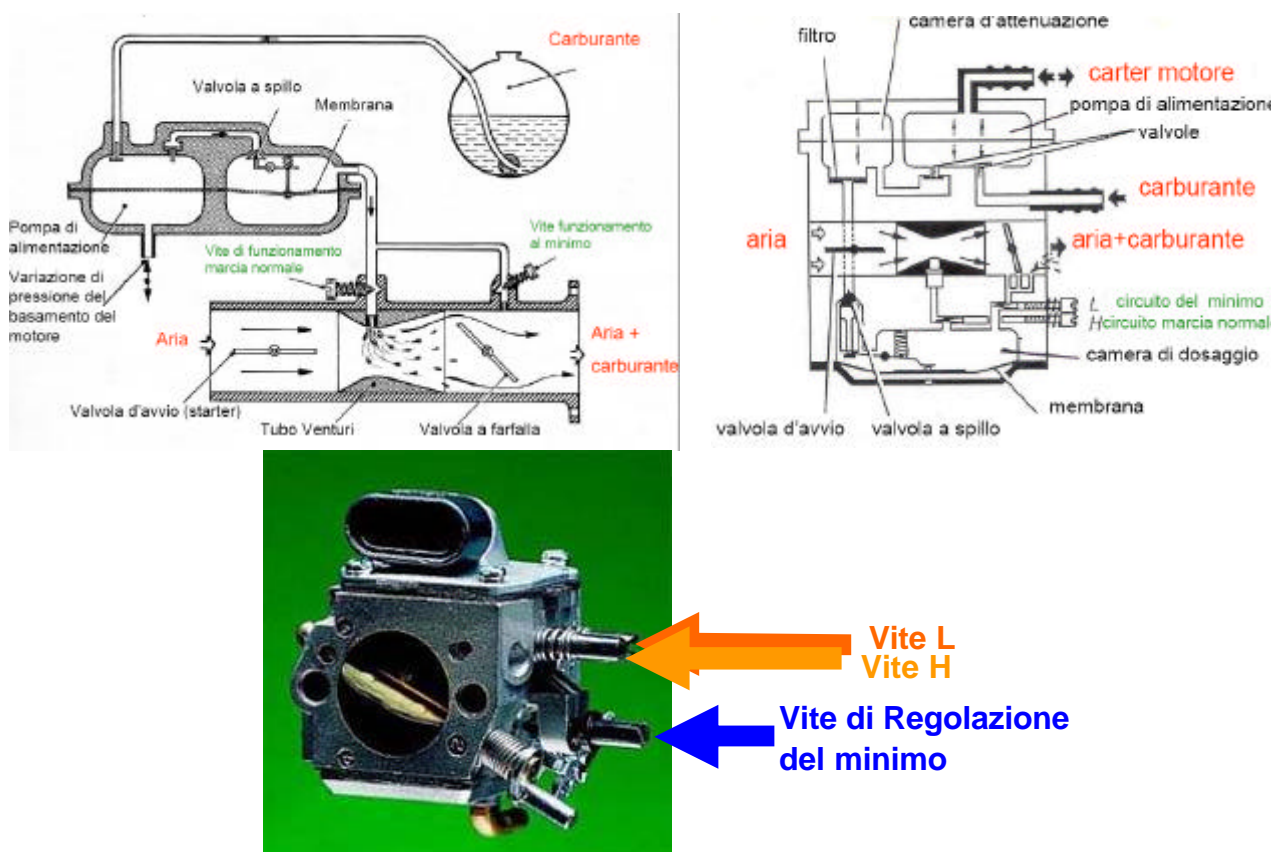



Figura 5 Il carburatore a membrana

Il motore essendo a due tempi deve essere alimentato da una miscela composta da benzina e olio per motori. La benzina deve avere un numero di ottani minimo di 90 N.O.R.M (norme tecniche UNICHIM), ed è del tipo "verde" (senza piombo), in teoria per contribuire alla protezione della salute e dell'ambiente, mentre in pratica è l'unica benzina oggi esistente sul mercato e quindi la più economica (ma anche la più nociva per l'uomo).

Da qualche decennio sono disponibili sul mercato d'oltralpe (in modo particolare Svizzera, Germania e Paesi Scandinavi), delle benzine prive di benzene, nelle quali l'azione antidetonante svolta da quest'ultimo composto è invece assicurata da idrocarburi alchilici[16]. Inutile dire che si tratta di carburanti concepiti per l'impiego su attrezzature portatili che però in Italia è estremamente difficile da reperire e sulla cui commercializzazione vige una sorta di omertà. Sicuramente si tratta di benzine più costose e che quindi male si integrano nelle magre economie delle imprese boschive italiane.

Per quanto riguarda l'olio lubrificante deve essere specifico per i motori a due tempi corrispondenti alla classificazione TC (Norme tecniche UNICHIM) ed il rapporto con la miscela varia da 1:25(4%) a 1:50(2%) a seconda del tipo di macchina. A differenza di quanto avviene con il carburante, sono oggi disponibili sul mercato una vasta gamma di lubrificanti delle diverse marche, che riducono le emissioni inquinanti e quelle di fumo (residui della combustione), attraverso un miglioramento della combustione del carburante.

Valutare l'effettiva efficacia di queste benzine e lubrificanti ecologici, è appunto uno degli scopi della presente sperimentazione.

Per quanto concerne l'avviamento dell'attrezzo, poco è cambiato dall'introduzione della macchina, e pertanto questa risulta essere un'operazione piuttosto faticosa e a volte snervante, in particolar modo nei casi di ingolfamento o di cattiva carburazione. Per prima

[16] Composti chimici che servono a regolare la reattività di miscele combustibili per motori a benzina (ciclo Otto), prevenendo eccessivi stress termici e meccanici e riducendo la presenza di inquinanti nei gas di scarico. L'azione antidetonante può essere ottenuta agendo sulla composizione della benzina (ad esempio incrementando la frazione aromatica) oppure introducendo composti contenenti eteroatomi. Per lungo tempo gli antidetonanti più utilizzati sono stati i composti alchilici del *piombo*. I più recenti progressi tecnici e legislativi hanno portato alle benzine senza piombo e alla richiesta di alternative. Tra queste sono particolarmente interessanti composti ossigenati quali l'MTBE (metil tert-butiletere), l'ETBE (etil tert-butiletere) ed il TAME (tert-amil metiletere), che oltre all'azione antidetonante comportano anche una riduzione del monossido di carbonio formato durante la combustione. Si confronti il Paragrafo 6.1.7.1

cosa (Figura 4), è necessario tirare la leva dell'aria in modo da arricchire la miscela[17] in fase di accensione, successivamente si posiziona il pulsante di avvio su "ON" e infine, con dei rapidi strappi, si tira la "corda" di avviamento fino a quando la macchina non si accende. A questo punto e possibile accelerare la macchina, premendo la leva dell'acceleratore. Questa operazione stacca automaticamente il tiretto dell'aria nella maggior parte dei modelli esistenti sul mercato, altrimenti l'operazione deve essere effettuata manualmente per evitare fastidiosi ingolfamenti. Per quanto concerne lo strappo per l'accensione, le buone norme ergonomiche, prevedono di eseguirlo con la macchina a terra e possibilmente con il piede inserito nella maniglia. Sono assolutamente sconsigliati gli avviamenti con la macchina posizionata a "mezzocorpo", al fine di evitare danni alla schiena dell'operatore.

1.1.3 Trasmissione

La potenza viene trasmessa dal motore all'apparato di taglio attraverso una frizione centrifuga solidale con il rocchetto. Tale frizione è costituita a due o più masse collegate ad un supporto che ruotano insieme all'albero motore all'interno di un tamburo. All'aumentare del numero di giri del motore, la forza centrifuga agente su ciascuna massa si incrementa vincendo le forze antagoniste delle molle di richiamo (Figura 6). Le masse che hanno un profilo esterno coniugato a quello interno del tamburo, venendo a contatto con la campana della frizione, cominciano a trascinarla per effetto di una forza di attrito.

[17] Nel gergo pratico, si dice: "aprire l'aria" quando il motore è "freddo", in quanto si tira la leva dell'aria presente sulla manopola di comando. In realtà con questa operazione l'aria si "chiude" dato che la leva di cui sopra agisce riducendo l'apertura della valvola a farfalla del carburatore, limitando così l'afflusso d'aria e quindi rendendo la miscela più ricca di benzina e quindi più infiammabile.

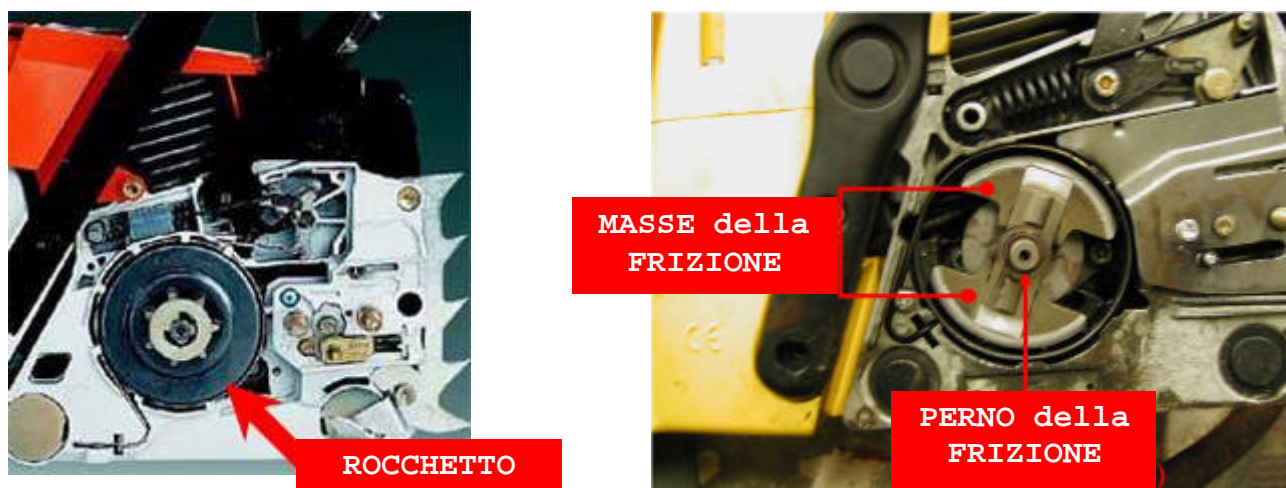



Figura 6 Trasmissione della motosega

1.1.4 Organo di taglio

L'apparato di taglio è costituito da una catena a maglie taglienti (Figura 6) che scorre lungo la barra della motosega, in una apposita scanalatura perimetrale. E' messa in movimento dal rocchetto che in genere ha sette denti.

La catena è costituita da tre tipi di maglie incernierate tra loro attraverso dei rivetti:

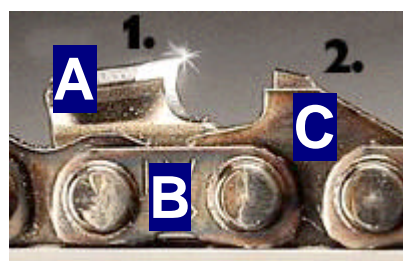
1. maglia di guida: che ha la funzione di tenere la maglia sulla scanalatura;
2. maglia di collegamento;
3. maglia di taglio: sagomata a sgorbia[18], in modo da esercitare un'azione piallante con asportazione di un truciolo.

A maglia di taglio
B maglia di collegamento
C maglia di guida
1. profilo tagliente
2. tallone

Figura 7 Maglie della catena

[18] Per assicurare la massima stabilità trasversale durante le operazioni di taglio ed avere una adeguata stradatura, la maglia di taglio è sagomata alternativamente verso destra e verso sinistra

Sono elementi caratteristici delle catene esistenti in commercio il numero delle maglie di guida, i loro spessore ed il passo[19]. In base alla tipologia di motosega, cambia il passo della catena.

Motosega tipo	Passo (mm)	Passo (pollici)
Leggera	6,35÷8,25	0,255÷0,332
Media	9,32	0,375
Pesante	10,26	0,404

Tabella 3 Caratteristica della catena di taglio in funzione della tipologia di motosega

Gli altri elementi caratterizzanti la maglia tagliente sono i due angoli di spoglia[20], gli angoli di becco[21], l'angolo di schiena[22] ed il tallone che limita lo spessore del truciolo.

Le caratteristiche del dente, oltre ad influire sulla capacità di taglio della motosega, subordinano il comportamento della macchina. Così, ad esempio, denti con sagome più arrotondate forniscono prestazioni più modeste ma assicurano un comportamento più "docile" in fase di taglio, riducendo cioè i rischi da rimbalzo della motosega e migliorando le condizioni di sicurezza.

La scanalatura della barra, è di spessore variabile tra 1,3 e 1,6 mm, all'interno della quale scorre il piede della maglia di guida della catena. Per un buon funzionamento dell'organo di taglio è necessario ridurre l'attrito di contatto tra la catena e la barra. Ciò si realizza attraverso l'afflusso di olio nella scanalatura per mezzo di un foro posto in corrispondenza di quest'ultima. Nelle motoseghe disponibili sul mercato l'olio raggiunge l'organo di taglio o per effetto della sovrapressione esistente nel carter oppure spinto da una piccola pompa ad ingranaggi azionata dall'albero motore.

---

[19] Il passo è definito come la semisomma delle distanze tra gli assi dei rivetti della maglia di guida e di quelli della maglia tagliente adiacente

[20] Indicati come *s1* (spessore) ed *s2* (il laterale), con ampiezza di 5÷10°

[21] Indicati come *b1* (orizzontale) con ampiezza di 55÷60° e *b2* (verticale) di 30÷35°

[22] Indicato come *d*, di poco inferiore a 90°

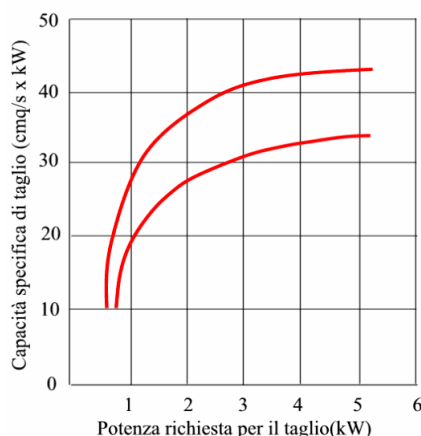
L'olio per la catena in genere è di origine vegetale, cioè derivato dalla colza od altri vegetali, oppure del tipo unigrado per alte pressioni (olio HD) appartenente a varie categorie (Tabella 4). Ogni casa costruttrice raccomanda un proprio lubrificante per catena.

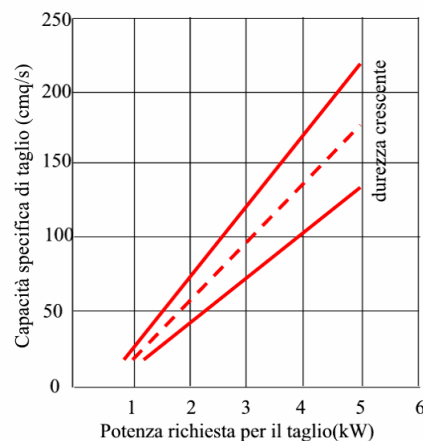
Temperature esterne	Categoria
+10°C ÷ +40°C	SAE30
-10°C ÷ +10°C	SAE20
-30°C ÷ -10°C	SAE20W/10W

Tabella 4 Categorie di lubrificanti per catena

Nella parte posteriore della spranga sono inoltre ricavati un'asola e due fori che servono per il fissaggio sul corpo macchina oltre che per l'azionamento del tendicatena a vite. Molte delle motoseghe oggi in commercio (tipo *Roll Top*) presentano un cuscinetto di rinvio in punta alla barra che riduce la pressione della catena in testa alla stessa, diminuendo l'attrito e rendendo così più agevole il taglio di punta o a tuffo.

1.1.5 Prestazioni

Il parametro più rappresentativo delle prestazioni di una motosega è la capacità di taglio definita come la superficie di legno asportata, nell'unità di tempo (cm^2/s).

①

Capacità specifica di taglio in funzione della potenza erogata dal motore ($cm^2/s \times kW$)

②

Capacità specifica di taglio in funzione della durezza del legname(cm^2/s)

Figura 8 Capacità di taglio delle motoseghe

I fattori che influenzano questo parametro sono l'affilatura e lubrificazione della catena, la forza con cui la motosega viene spinta sul legno, la specie legnosa, la direzione delle fibre del legno rispetto la linea di taglio e all'umidità dello stesso.

Nei grafici 1 e 2 della Figura 8, è rappresentato l'andamento indicativo della capacità specifica di taglio in funzione della potenza erogata dal motore. Nel grafico 2 della medesima figura, si osserva come all'aumentare della durezza del legname diminuisce la pendenza della retta.

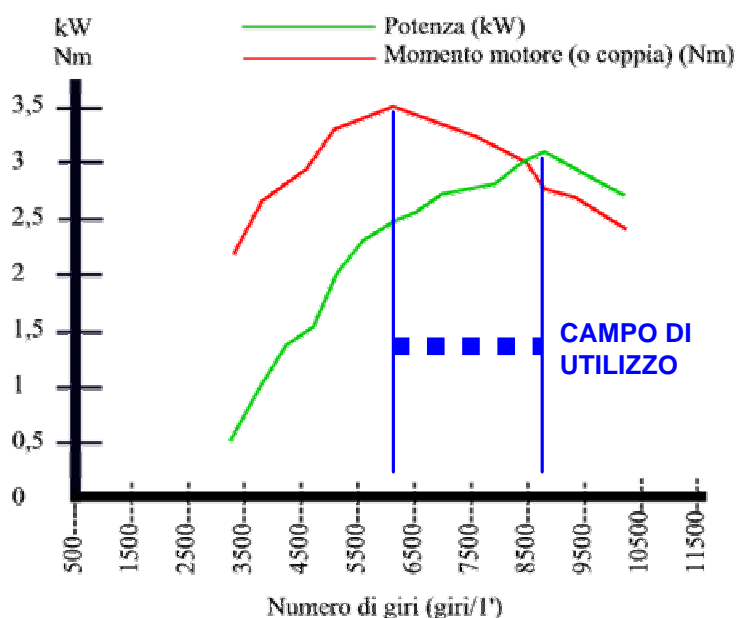



Figura 9 Curve caratteristiche (coppia e potenza) della motosega

La capacità di taglio della motosega, è ottimizzata impiegando motoseghe con spranghe dotate di cuscinetto di punta e velocità della catena non troppo elevate (15÷18 m/s). Queste misure inoltre, consentono di contenere il rumore, assicurando così maggiori condizioni di sicurezza e comfort.

L'indice di utilizzazione della motosega, definito come il rapporto tra la potenza utile, cioè quella necessaria per il taglio, e quella fornita dal motore, decresce rapidamente al

diminuire della potenza della macchina (Grafico 1 della Figura 7), rendendo perciò di scarso interesse motoseghe con potenze molto basse (0,5÷1,5 kW). Come è noto dalla Meccanica, il campo di utilizzo ottimale della motosega, è compreso fra il valore di coppia massima e quello della potenza massima, dato che in questo punto, è massimizzato il rendimento complessivo del motore.

1.1.6 Manutenzione

Affinché la motosega sia sempre in condizioni di efficienza e di sicurezza, è necessario provvedere ad una corretta e sistematica manutenzione. Per agevolare l'utilizzatore in tale proposito, le case costruttrici, forniscono insieme alla macchina, un libretto di uso e manutenzione[23] in cui sono riportate, oltre alle procedure di funzionamento, anche le misure manutentive che devono essere eseguite.

La manutenzione si distingue, a seconda del momento in cui viene eseguita, in *ordinaria* e *straordinaria*. La prima si esegue prima o dopo l'impiego della macchina oppure dopo un certo numero di ore di lavoro.

Dopo l'utilizzo della macchina è bene allentare la catena dopo l'esercizio[24], pulire la zona intorno al filtro dell'aria, dallo sporco grossolano, pulire il foro di emissione dell'olio per la catena, il canalino di erogazione dell'olio e la feritoia sulla barra.

Prima del lavoro, è buona norma, controllare il livello del lubrificante per la catena nel serbatoio, e verificare che la catena schizzi goccia d'olio durante il suo funzionamento; ciò è indice infatti della lubrificazione di quest'ultima. Il rabbocco l'olio deve avvenire tutte le volte che viene fatto il pieno di carburante.

[23] La misura è obbligatoria gia da molto tempo presso gli stati dell'Unione Europea; infatti secondo la gia citata Direttiva Macchine (89/392/CE), tutto ciò che rientra nella definizione di "Macchina", deve essere corredato di un libretto di Uso e Manutenzione tradotto in tutte le lingue dei paesi membri

[24] Questa operazione si rende necessaria in quanto dopo l'utilizzo della macchina, la catena, calda a causa dell'attrito che si è generato durante il taglio, inizia a raffreddarsi e a contrarsi, con il conseguente rischio di danneggiamento dell'albero a gomito e della bronzina qualora la tensione sia eccessiva

Altre buone norme di fine attività, sono la pulizia accurata dei tappi di chiusura (carburante e olio-catena) e della zona circostante al fine di evitare che lo sporco penetri nel serbatoio, il controllo della tenuta del tappo del serbatoio carburante e olio-catena ed il controllo della tensione della catena affinché aderisca alla pista inferiore della barra. Per portarla in tensione si agisce sulla vite tendicatena, sollevando la spranga per la testa (figura 9). Le motoseghe dell'ultima generazione (ad esempio *Stihl*) presentano una chiave inserita direttamente sulla spranga, attraverso la quale è possibile eseguire il registro della catena senza l'impiego di ulteriori utensili.

Figura 10 Sistema di tensionamento della catena

Dopo un certo numero di ore utilizzo della motosega, si rende opportuno invece, il lavaggio del filtro dell'aria, possibilmente con un liquido detergente non infiammabile (ad esempio dell'acqua saponata calda) e successiva asciugatura, la sostituzione dello stesso se risulta essere danneggiato, il controllo della candela di accensione se la potenza del motore è insufficiente o l'avviamento è difficile o se il regime del minimo è irregolare.

La sostituzione di quest'ultima, dovrebbe comunque effettuarsi dopo circa 100 ore di lavoro (circa 1 mese), anche prima nel caso gli elettrodi risultassero molto bruciati.

Per quanto riguarda la sostituzione delle altre componenti della macchina, quale il rocchetto, avviene di regola dopo il consumo di due catene o anche prima, nel caso in cui i

solchi di usura superassero i 0,5 mm circa. Inoltre è opportuno girare di 180° la barra di taglio dopo ogni affilatura e dopo ogni sostituzione della catena per evitare un'usura unilaterale della stessa.

La manutenzione periodica del freno catena, e cioè del dispositivo di sicurezza più importante della macchina, deve essere svolto, da parte di personale qualificato, ogni 3 mesi per impiego professionale della motosega oppure ogni 6 mesi per impiego semi-professionale (agricoltura, ed edilizia), ed una volta l'anno per l'impiego dilettantistico con utenti occasionali.

Sempre da parte di personale qualificato, è necessario il controllo periodico del silenziatore, al fine di verificare l'assenza di difetti.

Rientra sempre negli interventi di manutenzione ordinaria, la affilatura della catena: infatti una catena ben affilata "morde" con facilità il legno riducendo di conseguenza lo sforzo fisico da parte del lavoratore (pressione esercitata sul pezzo da tagliare). L'affilatura viene eseguita con lime speciali scelte in base alla passo della catena, in genere da personale qualificato.

Per manutenzione straordinaria si intendono tutte quelle operazioni svolte sulla macchina al riscontrare di anomalie o rotture di qualsiasi natura. La sostituzione di componenti danneggiati deve avvenire in modo repentino, e in attesa della loro sostituzione, la macchina non deve in alcun lavorare o funzionare, al fine di prevenire l'insorgenza di incidenti anche gravi.

Tutti gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria devono essere eseguiti a motore spento.

1.2. Il Decespugliatore

Il decespugliatore rispetto alla motosega, trova limitata applicazione nel campo delle utilizzazioni forestali, data la ridotta sezione dei fusti che con esso possono essere abbattuti (Confronta il Paragrafo 1.1). Viene comunque applicato per alcune operazioni quali i diradamenti, gli sfolli e la pulizia del sottobosco dall'erba e dagli arbusti prima dell'abbattimento degli alberi. Dove invece trova larga diffusione, è negli interventi di manutenzione delle aree verdi pubbliche e private, e nella selvicoltura urbana.

I decespugliatori sono distinti in due grandi categorie; i *decespugliatori* propriamente detti e i *bordatori*. I primi sono delle macchine professionali con motore a combustione interna a due tempi, con cilindrata compresa tra i 18 e i 50 cm^3, potenze dell'ordine dei 2 kW, e peso compreso tra i 10 ed i 12 kg. Come le motoseghe, presentano avviamento a strappo e un carburatore a membrana che consente di operare in varie condizioni di pendenza.

L'organo di taglio è rappresentato da una testina a 2 o 4 fili di nylon, oppure da un disco dentato in nylon o in metallo. Le lame in nylon hanno 3, 4, 8 o 40 denti (a sezione triangolare) mentre maggiore è il numero di denti delle lame metalliche, subordinato comunque alla consistenza del materiale da tagliare. Così ad esempio se il numero dei denti è ridotto l'impiego principale è rappresentato dal taglio di sterpaie o piccoli arbusti.

Il diametro delle lame circolari varia da 24 a 32 cm. La testina a filo o il disco in nylon sono utilizzati esclusivamente per il taglio delle piante erbacee.

I bordatori sono delle macchine a motore elettrico con potenze inferiori a 0,5 kW, peso non superiore a 3,5 kg ed organo di taglio caratterizzato da testina a filo di nylon. Il loro impiego è limitato al giardinaggio e nella rifinitura di operazioni di taglio su tappeti erbosi, in prossimità di ostacoli.

Tipologia decespugliatore	Cilindrata cm³	Impiego
Leggero	= 35	Per lavori che richiedono poca potenza e grande versatilità. Soprattutto per la manutenzione delle aree verdi.
Pesante	> 35	Per lavori che richiedono elevato rendimento e potenza. Sono distinti in: 1. DECESPUGIATORI PESANTI VERI E PROPRI 2. DECESPUGLIATORI FORESTALI O TRONCATORI

Tabella 5 Classificazione dei decespugliatori in base alla norma tecnica EN ISO 11806:1998

I decespugliatori commercializzati sono distinti in due tipologie: ad asta rigida e spalleggiato. Entrambe le versioni presentano impugnatura a manubrio (detta di tipo nordico) o ad anello. L'impugnatura a manubrio è di tipo ergonomico ed antivibrante.

Come per le motoseghe, anche nel caso del decespugliatore, il mercato offre una vasta gamma di modelli con potenze e caratteristichemolto diverse. La norma tecnica EN ISO 11806[25], classifica queste attrezzature in base alla cilindrata del motore endotermico: pertanto si considerano decespugliatori leggeri quelli con cilindrata uguale o inferiore a 35 cm^3 e decespugliatori pesanti, quelli aventi cilindrata superiore a 35 cm^3 (Tabella 5).

I decespugliatori pesanti forestali, visto che devono operare in condizioni difficili, presentano delle caratteristiche che gli conferiscono maggiore robustezza ed ergonomia, come ad esempio utilizzo di leghe leggere, per contenere il peso delle macchina, albero di trasmissione con lunghezza minore e diametro maggiore per aumentare la resistenza torsionale, testina con ingranaggi elicoidali più grande, organo di taglio rappresentato da un disco di diametro minore e sagomato per il taglio degli alberi e dispositivi antivibranti più efficienti[26].

[25] Norma Tecnica EN ISO 11806:1998

[26] Come avviene per le motoseghe, anche nei decespugliatori, il collegamento tra il motore ed il telaio non è solidale, ma interposto da "tamponi antivibranti" che riducono le vibrazioni scaricate dall'apparato propulsivo all'operatore

1.2.1 Telaio e carrozzeria

Nei decespugliatori ad asta rigida, il motore è collegato all’estremità posteriore dell’asta, all’interno della quale è inserito coassialmente l’albero motore che trasmette il moto all’organo di taglio. Attraverso un sistema di flange e ad una trasmissione angolare, l’organo di taglio è reso parallelo rispetto all’asta. In prossimità dell’organo di taglio è disposto il carter protettivo contro il “lancio” di corpi durante il funzionamento.

Sull’asta sono inseriti il manubrio di guida, l’anello da collegare alle cinghie di supporto per il sostegno al corpo dell’operatore e la manopola di presa con l’interruttore di marcia e di arresto e la leva dell’acceleratore.

① decespugliatore ad asta rigida ed impugnatura a manubrio

② decespugliatore ad asta rigida ed impugnatura ad anello

Figura 11 Tipologie di decespugliatori ad asta rigida

I decespugliatori spalleggiati, presentano il motore inserito in una struttura a zaino portata appunto sulle spalle dell’operatore. Le altre parti che costituiscono l’organo di

taglio sono l'asta rigida con l'organo di taglio e la guaina flessibile che collega quest'ultima con il gruppo motore.

La trasmissione del moto dal motore all'organo di taglio, avviene perciò, sia attraverso un albero motore coassiale all'interno dell'asta, sia attraverso un cavo flessibile, coassiale alla guaina. All'estremità dell'asta è posto il dispositivo costituito da albero motore, flange e coppia conica, che mette in movimento l'organo di taglio, ed il carter contro le proiezioni. Sull'asta sono presenti inoltre, l'impugnatura di presa con l'interruttore di avvio e di arresto del motore, la leva dell'acceleratore e l'impugnatura per la manovra dell'asta stessa.

Figura 12 Decespugliatore spalleggiato

1.2.2 Motorizzazione

Per la propulsione dei decespugliatori, sono impiegati sia motori elettrici che a fluido. L'azionamento tramite un motore elettrico rappresenterebbe la soluzione ideale dal punto di vista ergonomico e del costo della macchina. Tuttavia questi propulsori richiedono il collegamento alla rete elettrica rendendo irrealizzabile il lavoro in bosco.

Tra i motori a fluido, quello a combustione interna risulta di gran lunga il più pratico per i lavori forestali.

I propulsori endotermici che vengono prevalentemente impiegati sono i monocilindrici a due tempi con raffreddamento ad aria, viste le loro doti di compattezza e di leggerezza.

Tuttavia sul mercato sono presenti decespugliatori dotati di motori monocilindrici a quattro tempi che sono simili ai primi dal punto di vista delle prestazioni e della leggerezza, ma si rivelano molto più parsimoniosi per quanto concerne i consumi e con una importante riduzione del rumore, delle vibrazioni e delle emissioni inquinanti emesse.

Le caratteristiche del motore a due tempi, sono riportate nel Capitolo 2.

Nei moderni decespugliatori l'impianto tradizionale d'accensione (camma sull'albero motore e puntine platinate) sta gradatamente lasciando il posto all'accensione elettronica. I vantaggi consistono in una avviamento più rapido evitando le perdite di tempo dovute ad un eventuale difettoso funzionamento delle puntine o ad un'errata regolazione dell'anticipo di accensione. Sarà perciò assicurata l'affidabilità di accensione anche in condizione di avviamento a freddo. L'avviamento di tipo a strappo avviene per mezzo di una cordicella dotata di meccanismo autoavvolgente.

1.2.3 Trasmissione

Gli elementi che consento la trasmissione della potenza dal motore all'organo di taglio, sono similari a quella visti nella motosega[27], e comprendono la frizione centrifuga, l'alberino della trasmissione ed il riduttore angolare.

L'alberino di trasmissione è collegato rigidamente ed in maniera coassiale al tamburo della frizione e serve a trasferire la potenza del motore all'altra estremità del telaio. Al fine di evitare pericolose e fastidiose vibrazioni è realizzata in modo da avere il massimo equilibrio dinamico ed un peso contenuto.

[27] Confronta il Paragrafo 1.1.3

Il riduttore angolare si trova all’altro estremo dell’albero di trasmissione ed è formato da una coppia conica a profilo elicoidale che riduce il regime di rotazione dell’organo di taglio rispetto a quello del motore. Le case costruttrici adottano un coefficiente di riduzione angolare (rapporto di trasmissione) compreso tra 1,3 e 1,45. L’organo è mantenuto efficiente anche attraverso un’idonea lubrificazione.

1.2.4 Manutenzione

La corretta ed attenta manutenzione delle macchine assicura l’efficienza e la durabilità di queste nel tempo, ma è anche garanzia per coloro che ne fanno uso.

Anche nei decespugliatori, le procedure per la manutenzione vengono riportate sul libretto di uso e manutenzione in dotazione ad ogni modello.

La manutenzione può essere ordinaria e straordinaria; quella ordinaria deve essere effettuata con scadenza giornaliera e periodica.

Le procedure di manutenzione ordinaria prevedono l’ispezione di bulloni, dadi, viti al fine di assicurarne il corretto serraggio, l’ispezione della lama allo scopo di individuare rotture, o l’errato allinamento e l’eccentricità, il controllo dell’assenza di intasamento da sporco nei punti di passaggio dell’aria per il raffreddamento e la verifica dello stato di pulizia e di lubrificazione della testina degli ingranaggi. Per i modelli ad asta flessibile, è necessario estrarre il cavo coassiale dall’albero di gomma e la successiva lubrificazione di quest’ultimo, ogni 8÷10 ore di lavoro.

Periodicamente, ogni 20 ore di esercizio della macchina, è prevista la pulizia del filtro dell’aria, la pulizia della candela e la lubrificazione della testina di ingranaggi.

Appartengono invece alla manutenzione straordinaria tutti gli interventi per i quali è necessario ricorrere ad un centro di assistenza autorizzato.

Capitolo 2. Il motore e i gas di scarico

2.1 Classificazione dei motori e principio di funzionamento

I motori a combustione interna[28], si distinguono in motori ad *accensione comandata* e motori ad *accensione spontanea*. Fanno parte della prima categoria tutti i propulsori dotati di candela, la quale innesca al momento voluto, la combustione del carburante, che generalmente è la benzina[29]. I motori ad accensione spontanea, sono quelli in cui la "accensione" avviene spontaneamente, al raggiungimento di una certa pressione e temperatura all'interno della camera di combustione e sono alimentati a gasolio.

I motori ad accensione comandata e ad accensione spontanea, sono anche detti alternativi, in quanto il pistone, cioè l'elemento del motore che genera il lavoro[30] utile, si muove alternativamente da un *Punto Morto Superiore* (*PMS*), ad un *Punto Morto Inferiore* (*PMI*), per poi ritornare nuovamente al stato di partenza (cioè al *PMI*).

Si compie pertanto in questo periodo, un ciclo termico, ed il calore fornito al ciclo stesso (una parte del quale si trasforma in lavoro motore), deriva dalla combustione che avviene all'interno del fluido, il quale pertanto diventa fluido motore[31].

Un ciclo termico o termodinamico, si realizza quando un fluido assorbe calore (o energia termica) da una sorgente (ad esempio dalla combustione della benzina) e lo cede ad un refrigerante. Per il primo principio della termodinamica, che conferma il fatto che nulla si crea e nulla si distrugge[32], ma tutto si trasforma, parte dell'energia assorbita viene

---

[28] Sono invece motori a combustione esterna, i motori a vapore e i propulsori *Sterling*, nei quali la combustione avviene al di fuori del cilindro, il luogo cioè dove si genera il lavoro utile

[29] Appartengono infatti a questa categoria, anche i motori alimentati a gas, naturale (metano) o derivato dal petrolio (GPL, gas di petrolio liquefatto)

[30] In meccanica, il lavoro è definito come forza per spostamento e si misura in J (N×m)

[31] Citazione tratta dalle "*Dispense di Meccanizzazione Forestale*" del Prof.Ing. Danilo Monarca

[32] Il primo principio della termodinamica è semplicemente la legge di conservazione dell'energia generalizzata per includere il calore come forma di energia. Questo principio ci dice che un aumento in una delle forme di energia deve essere accompagnato da una diminuzione di qualche altra forma di energia. Il primo principio non pone alcuna restrizione sui tipi di conversione di energia che possono avere luogo; inoltre, esso non fa alcuna distinzione fra calore e

trasforma in lavoro utile e la parte restante viene ceduta al refrigerante. Pertanto il rendimento di un ciclo termico è definito come il rapporto tra la differenza delle due energie, quella di entrata e quella di uscita e l'energia termica in entrata (Equazione 1).

$$h = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \qquad\qquad h \cong 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

dove:
? rendimento;
Q_1 quantità di energia termica assorbita dal fluido motore [kcal];
Q_2 quantità di energia termica ceduta dal fluido motore al refrigerante [kcal];
T_1 temperature della sorgente di calore [°K];
T_2 temperatura del refrigerante [°K].

Equazione 1 Rendimento di un ciclo termico

Il ciclo termodinamico che assicura il massimo rendimento è quello di Carnot che però è ideale in quanto le quattro trasformazioni reversibili (due isoterme e due adiabatiche) difficilmente possono realizzarsi in sequenza e comunque in tempi lunghissimi.

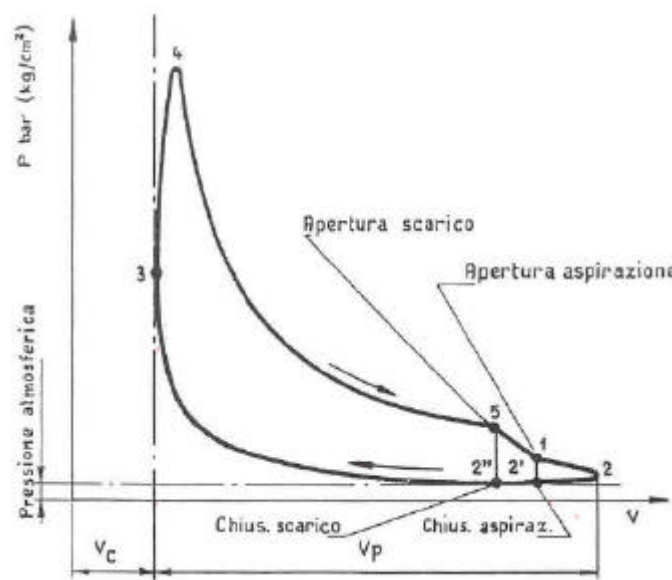



Figura 13 Ciclo indicato di un motore a due tempi

lavoro, Secondo il primo principio, l'energia interna di un corpo può essere aumentata sia fornendo calore che eseguendo del lavoro su di esso.

Pertanto per aumentare il lavoro utile di un motore, o si rende massima la differenza tra le due quantità di calore Q_1 e Q_2, oppure si impiegano motori in grado di trasformare velocemente l'energia termica in lavoro. La quantità di lavoro che una macchina esplica nell'unità di tempo, è appunto definita, Potenza Meccanica disponibile.

I cicli ideali a cui fanno riferimento i motori a combustione interna, sono il ciclo otto (per i motori ad accensione comandata) ed il ciclo Diesel o Sabathé (per i motori ad accensione spontanea).

Il Ciclo Otto

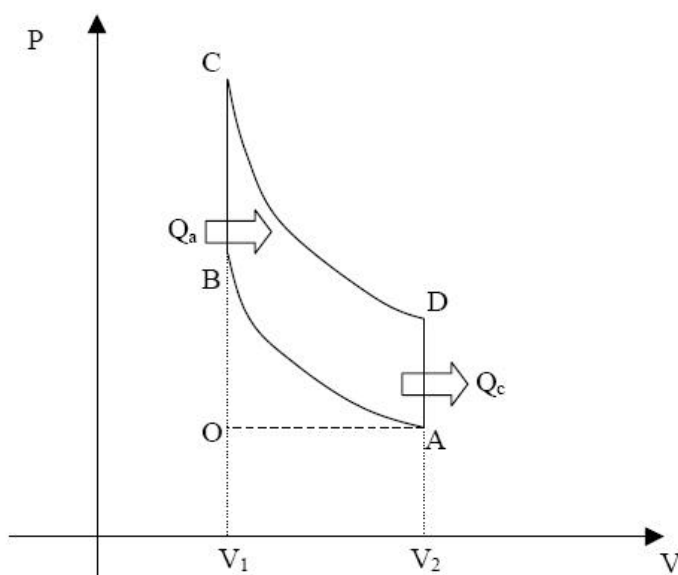



Figura 14 Ciclo termodinamico (Ciclo Otto)

Si tratta ovviamente di cicli teorici e cioè di cicli che rispetto alla realtà presentano alcune diversità. I ciclo reale è anche detto ciclo "indicato", dal nome del dispositivo, detto appunto indicatore, che applicato all'albero motore e nel cilindro, fornisce in funzione della posizione del pistone, il valore di pressione della camera di combustione.

Le principiale differenze tra un ciclo teorico ed uno indicato dpendono da alcuni ragioni, quali:

- Le perdite di calore, che sono considerate nulle nel ciclo teorico, mentre in quello indicato sono sensibili a causa del raffreddamento ad acqua o ad aria dei cilindri, necessario al buon funzionamento del motore;
- Combustione imperfetta e non istantanea del ciclo indicato, rispetto a quella teorica che invece è supposta istantanea[33];
- Scarico anticipato dei gas della combustione, dato che questo non può avvenire istantaneamente, come invece è ipotizzato nel ciclo teorico[34];
- Lavoro di pompaggio del pistone, che a differenza di quello teorizzato, non avviene linearmente, ma dipende dalla velocità del pistone[35];
- Dissociazione dei prodotti della combustione, quali la CO_2 (molecola di anidride carbonica) e *l'*H_2O (molecola d'acqua) in *CO* (monossido di carbonio), H_2 (idrogeno) e O_2 (ossigeno). Questa dissociazione avviene all'interno della camera di combustione a causa del calore raggiunto, e determina una riduzione dei valori di temperatura e pressione.

2.2 Elementi costitutivi del motore

2.2.1 Architettura del motore, cicli termodinamici e caratterizzazione

L'elemento principale del motore è appunto il pistone che scorre all'interno del cilindro. I motori possono avere uno o più pistoni, e l'insieme dei cilindri al cui interno essi scorrono, costituiscono il *monoblocco* del motore.

---

[33] La combustione non avviene istantaneamente, ma richiede un certo intervallo di tempo. Se questa avvenisse quando il pistone si trova al *PMS*, avverrebbe mentre il pistone è già in fase di allontanamento, con perdite della pressione e del lavoro utile. Per questo si anticipa l'accensione della candela o dell'iniezione del gasolio, quando il pistone sta arrivando in prossimità del *PMS* Ciò provoca rispetto al ciclo ideale, delle perdite di lavoro, tuttavia inferiori a quelle che ci sarebbero, se non si procedesse all'*anticipo dell'accensione*

[34] Come per il Rif.31, nel ciclo teorico si presuppone che l'espulsione dei gas della combustione avvenga nell'istante in cui il pistone raggiunge il *PMI* Nella realtà ciò ha bisogno di un tempo finito, necessario all'apertura della valvola di scarico e all'estrazione della valvola di gas. Per questo, l'apertura della valvola di scarico è anticipata prima che il pistone raggiunga il *PMI*, con conseguente perdita del lavoro utile, tuttavia contenuta rispetto a quella che ci sarebbe senza *anticipo dello scarico*

[35] Quando il pistone "corre" di più (ciò avviene quando esso è lontano dai punti morti), la capacità di aspirazione aumenta

Il monoblocco è a sua volta sostenuto dal *basamento* e chiuso dalla *testata*, sulla quale troviamo le “luci” delle *valvole di aspirazione* e di *scarico* e la sede della *candela di accensione*, nel caso dei motori ad accensione comandata o dell’*iniettore*, se il motore è invece Diesel.

Il pistone o i pistoni, attraverso un sistema biella-manovella[36], pongono in movimento *l’albero motore* o *albero a gomiti*. Quest’ultimo, oltre a trasmettere il moto al *sistema di trasmissione*, pone in rotazione, anche l’albero della distribuzione o albero a camme, che comanda l’apertura e la chiusura delle valvole sulla testata.

Gli altri parametri, geometrici e non, che caratterizzano un motore, sono il numero dei cilindri e la loro disposizione, l’alesaggio, cioè il diametro interno dei cilindri, la corsa o distanza tra le due posizioni estreme *PMS* e *PMI*, la cilindrata unitaria o volume del cilindro compreso tra le posizioni di cui prima, la cilindrata totale, cioè il prodotto tra il volume unitario del cilindro e il numero degli stessi e il volume della camera di combustione, e cioè la regione di spazio compresa tra la testata e lo stantuffo, quando questo si trova al *PMS*.

Tuttavia il parametro più importante risulta essere il *ciclo operativo*, che può essere a quattro o due tempi. Come accennato, il ciclo di funzionamento di un motore endotermico alternativo è periodico, in quanto deve ritornare alla condizione iniziale affinché possa ripetere un nuovo ciclo. Ciò si rende evidente con il moto alternativo del pistone, che appunto sale e scende all’interno del cilindro.

Durante questa attività avvengono nel cilindro, le seguenti fasi:

1. Aspirazione della miscela aria-carburante nel cilindro;
2. Compressione della miscela;

[36] La biella e la manovella costituiscono il manovellismo di spinta rotativa, comunemente conosciuto come meccanismo biella-manovella è un sistema per la trasformazione di moto rettilineo in circolare e viceversa. Trova larghissima applicazione in numerosi elementi meccanici, dai motori a pistoni (endotermici e non) ai sistemi di chiusura delle presse da stampaggio

3. Accensione della candela e combustione della miscela con successiva espansione del fluido che spinge il pistone verso il basso, producendo così il lavoro motore;
4. Scarico dei gas della combustione.

Queste fasi che si realizzano in un motore ad accensione comandata, sono rappresentate in buona approssimazione mediante le trasformazioni che avvengono nel ciclo otto.

Altra distinzione dei motori alternativi, è quella tra i motori a quattro tempi e quelli a due tempi. Nei primi, il periodo con cui si svolge l'intero ciclo, consta di quattro corse del pistone; due di andata e due di ritorno. Nei motori a due tempi invece, il periodo è corrispondente a due corse del pistone, cioè una di andata ed una di ritorno.

Ne consegue che i propulsori a due tempi, compiono l'intero ciclo con un giro dell'albero motore, mentre i quelli a quattro tempi, con due giri. Questo perché le fasi di aspirazione e di compressione, avvengono durante la stessa corsa del pistone, e cioè dal *PMS* al *PMI*, mentre le fasi di espansione e scarico, sempre nella stessa corsa del pistone, si realizzano quando il pistone passa dal *PMI* al *PMS*.

Ciò è reso possibile dall'architettura del motore a due tempi, che presenta al posto delle valvole, due luci per l'aspirazione e lo scarico che vengono aperte e chiuse dal pistone in movimento.

I tempi del ciclo a due tempi sono pertanto:

1. combustione – espansione – scarico (I Fase);
2. scarico – aspirazione – compressione (II Fase).

Per quanto riguarda i rendimento, e cioè la quantità di energia termica che genera lavoro utile, si ottiene dal prodotto dell'Equazione 2.

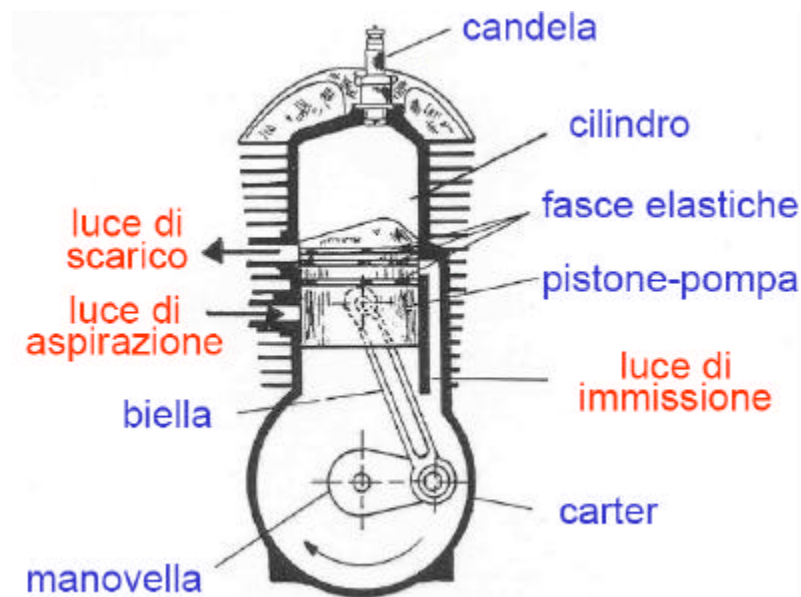



Figura 15 Architettura di un motore a due tempi

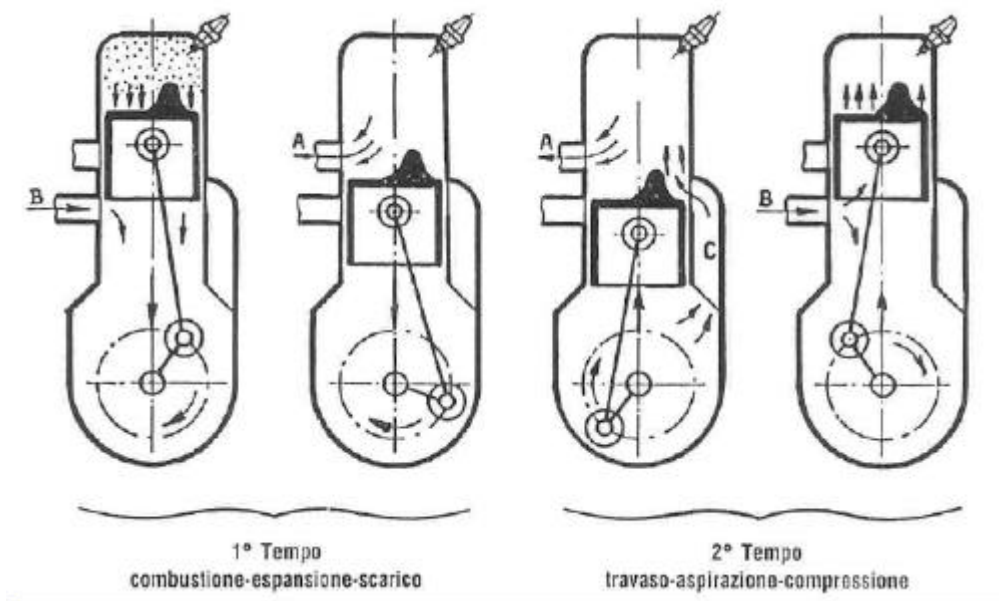



Figura 16 Fasi di un motore a due tempi

$$h = h_{id} \times h_i \times h_m = \frac{L_e}{EQ_1}$$

dove:
? rendimento totale di un motore;
$?_{id}$ rendimento del ciclo ideale;
$?_i$ rendimento indicato;
$?_m$ rendimento meccanico;
L_e lavoro effettivo disponibile;
E equivalente energetico della caloria.

Equazione 2 Rendimento totale di un motore

Tipologia di Motore	Rapporto di compressione[37]	Rendimento totale
Motore ad accensione comandata a 4 tempi	6 ÷ 10	0,25 ÷ 0,30
Motore ad accensione comandata a 2 tempi	5 ÷ 9	0,20 ÷ 0,27
Motore ad accensione spontanea a 4 tempi	14 ÷ 22	0,30 ÷ 0,40
Motore ad accensione spontanea a 2 tempi	11 ÷ 20	0,27 ÷ 0,36

Tabella 6 Rendimenti dei motori

I valori dei rendimenti totali delle tipologie di motori, sono riportati nella Tabella 6. Da questa si evince come i rendimenti maggiori sono riscontrabili nei motori Diesel piuttosto che in quelli alimentati a benzina.

In realtà il rendimento di un motore ad accensione spontanea è inferiore a quello del motore ad accensione comandata, ma in virtù del fatto che il primo presenta rapporti di compressione superiori, a parità di calore Q_1 somministrato, il rendimento totale risulta esserne avvantaggiato.

Gli altri parametri del motore che lo caratterizzano, sono la potenza, la coppia ed il consumo specifico.

La potenza effettiva di un motore è la potenza realmente disponibile all'albero motore e cioè il lavoro effettivo ottenuto nell'unità di tempo.

$$W_e = \frac{L_e}{t} = h_m W_i$$

dove:
W_e potenza effettiva [kW];
$?_m$ rendimento meccanico;
W_i potenza indicata [kW];
L_e lavoro effettivo [J];
t tempo [s].

Equazione 3 Potenza effettiva

Per ottenerla è necessario conoscere il rendimento meccanico (Tabella 6) e la potenza indicata, W_i. Per arrivare a quest'ultimo parametro è necessario valutare il lavoro

[37] Si definisce rapporto di compressione, il rapporto tra il volume all'inizio e quello alla fine della fase di compressione

del ciclo indicato (Figura 13 e Figura 14) che è dato dall'area di tale ciclo. Il calcolo può essere fatto per via integrale oppure considerando la *pressione media indicata*[38], o p.m.i.

$$L_i = \oint pdv = P_{mi}\left(V_1 - V_2\right) = P_{mi}\,\frac{p \cdot D^2}{4} \times C \quad ; \quad W_i = P_{mi}\left(V_1 - V_2\right) \times \frac{n}{60 \times Z} \times i$$

dove:
L_i lavoro indicato [J];
W_i potenza indicata di un motore [kW];
p.m.i pressione media indicata [kPa];
V_1 volume del cilindro quando il pistone è al punto morto inferiore [dm^3];
V_2 volume del cilindro quando il pistone è al punto morto inferiore[dm^3];
D alesaggio [m];
E corsa [m];
n numero di giri al minuto;
Z costante che vale 1 per i motori a due tempi e 2 nei motori a quattro tempi;
i numero dei cilindri.

Equazione 4 Equazione della potenza indicata

Un altro modo di poter valutare la potenza effettiva, è attraverso le curve caratteristiche del motore[39]. Per questo è necessaria una attività sperimentale condotta su un banco prova, costituito da un freno dinamometrico in grado da "arrestare" il moto del propulsore. Dalla meccanica è noto infatti che un motore posto su un banco di prova può erogare potenza soltanto se è presente un dispositivo in grado di assorbirla, appunto il freno. La potenza di un motore (rapidità con cui viene compiuto un certo lavoro) è calcolata con l'Equazione 5.

$$P = C \times w$$

dove:
P potenza effettiva [kW];
C coppia[40] [N×m];
? velocità angolare dell'albero motore.

Equazione 5 Potenza del motore

Dall'equazione è evidente come il valore della potenza varia in funzione della velocità dell'albero motore e della coppia ad un determinato regime. Per quanto riguarda *?*, si

---

[38] *P.m.i*. è il valore di pressione medio che si riscontra all'interno del cilindro, durante la corsa del pistone

[39] Le curve caratteristiche di un motore sono quelle della coppia, quella della potenza e quella del consumo specifico. Nota i valori di coppia ad un certo regime, si possono estrapolare i valori di potenza

[40] La coppia è il prodotto di una forza misurata in Newton (N) e una lunghezza l misurata in metri (m)

ottiene dall’Equazione 6 e cioè è in funzione del numero di giri dell’albero a gomiti, mentre la coppia, sperimentalmente, si valuta ponendo la macchina al banco di prova.

$$w = 2p\ f \quad ; \quad f = n/60$$

```
dove:
? velocità angolare [rad/s];
f frequenza di rotazione;
n numero di giri dell’albero motore al minuto[41].
```

Equazione 6 Velocità angolare

La determinazione del valore di coppia al banco di prova, si basa sull’equazione della meccanica (Equazione 7), secondo la quale la coppia motrice diminuita della coppia resistente prodotta dal freno dinamometrico, deve essere uguale alla variazione della velocià angolare dell’albero motore in funzione del tempo, per il momento di inerzia del motore.

La curva caratteristica di coppia di un motore viene calcolata empiricamente portando il motore al numero di giri massimo (tutta manetta) e applicando con il freno delle coppie resistenti via via crescenti, aspettando che il numero di giri sia costante. Infatti con *n = cost* , *d? / dt* è uguale a zero (cioè la velocità angolare rimane costante nel tempo) e perciò l’Equazione 7 diventa (Equazione 8):

$$C_m - C_r = \frac{dw}{dt} \times I$$

```
dove:
Cm coppia motrice [N?m];
Cr coppia resistente[N?m];
d? variazione della velocità angolare [rad/s];
dt variazione del tempo [s];
(d? / dt rappresenta l’accelerazione angolare nel tempo)
I momento di inerzia.
```

Equazione 7 Equazione della coppia motrice

$$C_m - C_r = 0 \quad ; \quad C_m = C_r$$

Equazione 8 Valutazione sperimentale del valore di coppia motrice

[41] Il valore di *n* è diviso per 60, per portarlo all’unità di tempo del SI (sistema internazionale di misura), cioè il secondo, “s”

In queste condizioni di regime, la coppia resistente applicata corrisponde alla coppia motrice. Rilevando perciò il valore di forza applicata dal freno, dal quadrante dello stesso, e moltiplicandola per il valore del braccio del dinamometro, si ottiene il valore di coppia resistente, che corrisponde a quello della coppia motrice, per le ragioni appena viste.

$$C_S = \frac{C_{(t)}}{L_{(t)}}$$

dove:
C_S rappresenta il consumo specifico (g/kWh);
$C_{(t)}$ rappresenta il consumo misurato nel tempo t della prova;
$L_{(t)}$ rappresenta il lavoro compiuto dalla macchina in tale di tempo, che viene determinato in funzione della potenza, in base alla formula:

$L = P \times t$ [kWh]

dove:
P é la potenza della macchina (kW);
t rappresenta il tempo di prova (h).

Equazione 9 Valutazione del consumo specifica

Una volta calcolata la coppia *C* oltre a derivare la curva della potenza è possibile valutare anche l'andamento del consumo specifico *CS* (spesa energetica per ottenere l'unità di energia erogata che viene espressa in g/kWh) che decresce con l'aumentare del carico e presenta un minimo tra il regime di potenza massima ed il regime di coppia massima. La formula che ci consente di calcolare il consumo specifico è quella riportata nell'Equazione 9.

2.2.2 Il motore endotermico delle attrezzature portatili

Le attrezzature portatili, come dice il nome, sono macchine sorrette direttamente da un operatore durante la loro l'attività, e perciò devono rispondere a determinate doti di leggerezza[42] e di maneggevolezza.

La scelta dei materiali che le costituiscono, nonché la loro forma e gli attrezzi che vi sono installati, devono tenere conto di questa condizione. Perciò, per le attrezzature

[42] Il D.Lgs. 626/94 impone come limite massimo di carico sollevabile da un uomo adulto, un peso di 30 kg

portatili che richiedono potenze importanti, il propulsore che da sempre è stato adottato dalle varie case costruttrici, è quello endotermico a due tempi.

Questo motore rispetto a quello a quattro tempi e a quello Diesel, presenta una struttura semplificata e quindi più leggera e realizzabile in dimensioni ridotte. Perciò è impiegato oltre che per le attrezzature portatili quali le motoseghe, i decespugliatori, le falciatrici, etc., anche per alcuni autoveicoli come gli scooter, motocicli e le piccole imbarcazioni.

La semplificazione apportata sta soprattutto nel fatto che non è presente il sistema di distribuzione (o albero a camme)[43] e quindi mancano le valvole, la cui funzione è sostituita invece, dal passaggio del pistone che apre o chiude le luci di aspirazione e di scarico.

Il raffreddamento del propulsore è sempre ad aria, con il cilindro che all'esterno presenta delle alettature che aumentano la superficie per lo scambio termico con l'esterno.

Non esiste un impianto di lubrificazione, dato che l'olio è miscelato direttamente con il carburante. Anche questi due ultimi aspetti, consentono di ridurre ulteriormente il peso del propulsore.

Come visto in precedenza[44], le fasi del ciclo di funzionamento di questo tipo di motore sono due. Durante il primo tempo, il pistone ha gia compresso la miscela nella camera di scoppio, e dalla luce di aspirazione entra nel frattempo dell'altra miscela nel carter, mentre scocca la scintilla. I gas della combustione spingono il pistone verso il basso e vengono espulsi dalla luce di scarico che si è aperta. Nel secondo tempo, la discesa del cilindro apre la luce laterale di alimentazione, attraverso cui la miscela passa dal carter alla camera di scoppio. Inizia perciò la risalita del pistone che, mentre elimina i residui dei gas combusti (lavaggio del pistone), comprime la miscela prima dello scoppio nel ciclo successivo.

---

[43] Confronta il Paragrafo 2.2.1
[44] Confronta il Paragrafo 2.2.1

Un'altra ragione per cui sono stati sviluppati questi motori nell'ambito delle attrezzature portatili, risiede nel fatto che questi a parità di cilindrata, rispetto ad un motore a quattro tempi o a ciclo Diesel, esplicano una potenza maggiore. Ciò è facilmente intuibile se si considera l'Equazione 5, nella quale la potenza è direttamente proporzionale alla coppia motrice o alla velocità dell'albero motore. L'incremento dei valori di coppia è possibile solo aumentando le dimensioni del propulsore andando contro al presupposto della realizzazione di un propulsore di piccole dimensioni.

Per aumentare la potenza, si può invece agire sul secondo addendo dell'equazione e cioè sulla velocità di rotazione dell'albero motore. I motori a due tempi, presentano infatti un regime di rotazione maggiore rispetto a quello degli altri propulsori endotermici, dipeso dal fatto che l'intero ciclo operativo, si svolge in due fasi anziché quattro, corrispondenti ad un giro dell'albero motore piuttosto che due.

Il maggiore numero di giri che essi possono raggiungere se da un lato conferisce maggiore potenza alla macchina, dall'altro pone tutti gli organi della stessa a forti stress meccanici[45].

Le altre problematiche del motore a due tempi sono i minori rendimenti termodinamici dovuti a varie ragioni, ma in modo particolare al cattivo riempimento del cilindro, alla perdita di miscela durante la fase di lavaggio e l'incompleto sfruttamento della fase utile di espansione. In definitiva i motori a due tempi lavorano con una più bassa *pmi* (pressione media effettiva) e con più elevati consumi specifici, rispetto a quelli a quattro tempi[46].

Al fine del conseguimento dei nostri obiettivi, lo studio e l'analisi di questa gamma di propulsori, presenta una notevole importanza.

[45] Confronta i Paragrafi 1.1.2 e 1.2.2
[46] Citazione tratta dalle "*Dispense di Meccanizzazione Forestale*" del Prof.Ing. Danilo Monarca

2.2.3 Il carburatore

I combustibili volatili consentono di miscelarsi con l'aria prima che scocchi la scintilla, mentre per quelli poco volatili, la miscelazione avviene solamente nel cilindro, quando le condizioni di pressione e temperatura sono sufficienti ad innescare la combustione.

Pertanto, il controllo della potenza avviene con modalità differenti in base alla tipologia del motore. Per quanto riguarda il ciclo diesel, la potenza erogata è gestita attraverso il controllo della portata del carburante (gasolio) immesso nella camera di combustione. Il regolatore della portata dei motori diesel, è l'iniettore[47].

Nei motori a ciclo otto invece, la regolazione della potenza avviene controllando la portata della miscela (aria + combustibile). L'organo di miscelazione di questi motori è detto carburatore[48].

Il carburatore svolge quindi il delicato compito di regolare il rapporto stechiometrico aria/carburante (indicato come A/F air/fuel).

Il rapporto di miscela A/F (Equazione 10) indica il rapporto tra la massa di aria e la massa di carburante contenute nella miscela stessa, successivamente introitata dalla camera di combustione.

$$A/F = M_{aria}/M_{combustibile}$$

Equazione 10 Rapporto aria combustibile

Dal punto di vista chimico, il valore A/F stechiometrico, è quello che permette una combustione completa e che non lascia né eccesso d'aria (miscele povere) né di carburante incombusto (miscele ricche). Gli unici prodotti della combustione saranno acqua (H_2O) ed anidride carbonica (CO_2).

[47] In un motore Diesel, il posto occupato dalla candela è sostituito da un iniettore. Questo è collegato ad una pompa capace di "imprimere al combustibile una pressione necessaria a polverizzare ed immetterlo nel cilindro pieno di aria ove vige un'elevata contropressione" - Citazione tratta dalle *"Dispense di Meccanizzazione Forestale"* del Prof.Ing. Danilo Monarca

[48] Confronta il Paragrafo 1.1.2 e la Figura 5

Il rapporto stechiometrico dipende dal tipo di combustibile; per le benzine commerciali esso varia all'incirca da 14,5÷14,8; ossia occorrono dai 14,5÷14,8 kg di aria per bruciare 1 kg di benzina.

Questo rapporto vale 6,5 per l'alcool metilico e 9 per quello etilico.

Pertanto il carburatore svolge essenzialmente queste due funzioni:

1. Dosare la portata di combustibile nel flusso d'aria aspirato, mantenendo il rapporto aria/combustibile entro i valori di cui sopra.
2. Controllare la potenza erogata regolando la portata d'aria aspirata secondo il comando del pilota.

Per quanto concerne gli aspetti della nostra sperimentazione, il carburatore ricopre un'importanza speciale. Infatti la composizione dei gas di scarico dipende quasi esclusivamente dalla dosatura della miscela, che come accennato precedentemente, risulta essere corretta quando il rapporto combustibile/aria è circa dello 0,065 (reciproco dell'Equazione 10). In questa condizione, la composizione del gas di scarico e quella riportata nella Tabella 6, cioè una composizione sostanzialmente priva di elementi chimici pericolosi per l'uomo (come il *CO*[49]) e l'ambiente.

Combustibile/aria = 0,065

COMPONENTI	FORMULA CHIMICA	PERCENTUALE (%)
Azoto	N_2	72,76
Vapore d'acqua	H_2O	13,25
Anidride carbonica	CO_2	11,52
Ossigeno	O_2	0,98
Ossido di carbonio	CO	0,86
Metano	CH_4	0,48
Idrogeno	H_2	0,15

Tabella 7 Composizione del gas di scarico con rapporto combustibile aria corretto

[49] Monossido di Carbonio. Sulla sua nocività si confronti il Paragrafo 3.2.2

Qualora la miscela diventi *ricca*, cioè con un eccesso di combustibile, la percentuale di CO_2, quella di CO e di H_2, aumentano, mentre se la miscela *impoverisce*, aumenta rapidamente la percentuale di O_2 e diminuisce la percentuale di H_2O e di CO_2. In entrambi i casi si ha comunque perdita di calore e di rendimento del motore. Perciò il massimo rendimento termico del motore si ottiene anche, con la giusta dosatura della miscela. Quindi, le analisi dei gas di scarico di un motore endotermico, permettono di controllare l'andamento della combustione nei cilindri. Dal risultato di tale analisi si potrà stabilire quale sia la più adatta regolazione del carburatore o dell'iniettore. Inoltre essa può fornire al progettista utili indicazioni circa la forma più appropriata della camera di combustione e dei condotti di emissione della miscela nei cilindri, sulla posizione della candela o dell'iniettore e sull'efficacia del raffreddamento del motore.

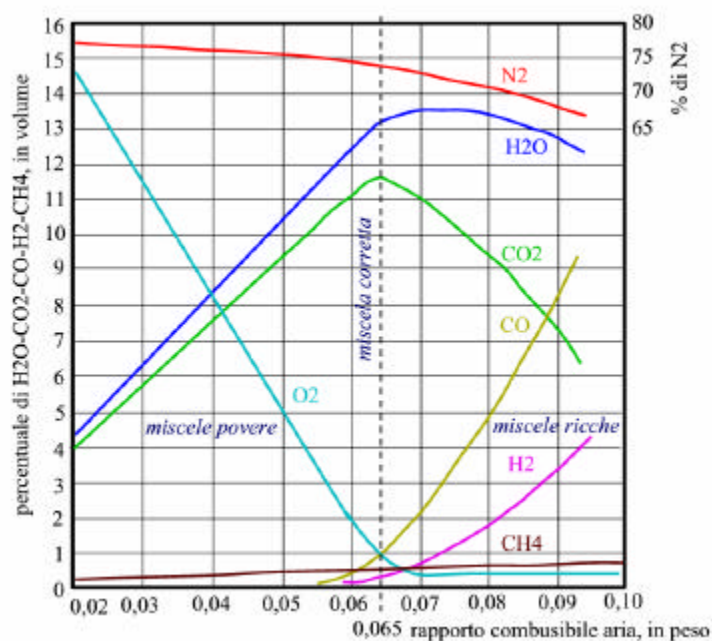



Figura 17 Diagramma della composizione del gas di scarico in funzione del rapporto combustibile/aria

Purtroppo, in linea generale la carburazione dei motori e quindi il rapporto aria combustibile non'è mai perfetta, tanto meno nelle attrezzature portatili, oggetto del nostro studio.

Infatti, oltre alla corretta regolazione del carburatore, le variabili in gioco in un giusto rapporto aria combustibile, sono la pressione e la temperatura atmosferica, le variazione della composizione del carburante (benzina) o del lubrificante, la presenza di impurità nel carburante, le vibrazioni che possono far variare la regolazione degli elementi del carburatore. Tutti questi fattori difficilmente possono essere gestiti e mantenuti costanti durante l'intero arco di tempo, dell'utilizzo della macchina.

Inoltre la carburazione delle motoseghe e dei decespugliatori, non avvalendosi di strumenti sofisticati, come gli analizzatori dei gas di scarico, risulta perciò essere affidata all'esperienza e all'intuizione dell'operatore, elementi che a volte risentono della soggettività dell'individuo e che quindi non danno garanzia di precisione ed omogeneità.

Un ulteriore strumento per la valutazione immediata della corretta carburazione, sta nel controllo visivo del colore e della lunghezza delle fiamme uscenti dai condotti di scarico dei cilindri, i quali a riguardo, forniscono importanti informazioni (Tabella 7).

Fiamme lunghe, rosso chiaro, striate di azzurro	MISCELA CORRETTA
Fiamme rosso scuro, spesso accompagnate da sbuffi di fumo nerastro	MISCELA RICCA
Fiamme corte, striate di bianco o completamente bianche	MISCELA POVERA
Fiamme a sbuffo di fumo nero nelle quali compaiono lingue di fuoco rosso splendente	MOTORE FUNZIONANTE IN REGIME DI DETONAZIONE

Tabella 8 Valutazione visiva del grado di carburazione

Quando si vuole un esame preciso della combustione, si ricorre alle prove termiche e alle prove chimiche sui gas di scarico.

Per quanto riguarda la composizione chimica, come accennato precedentemente, qualora la combustione sia completa, i gas di scarico sono costituiti prevalentemente da CO_2 (Anidride Carbonica), H_2O (Acqua sotto forma di vapore) e N_2 (Azoto). Ma dato che in

pratica la combustione non’è mai completa, allora oltre ai suddetti componenti, nei gas di scarico si trovano percentuali variabili di *CO* (Monossido di carbonio), di H_2 (Idrogeno) ed anche di CH_4 (metano) ed idrocarburi combusti volatili.

Anche la temperatura dei gas di scarico fornisce indicazioni sull’utilizzazione dell’energia dei gas stessi, sulla velocità di propagazione della combustione e sull’anticipo all’accensione. Si riscontra infatti che la temperatura è tanto più alta quanto minore è lo sfruttamento della fase di espansione dei gas, viceversa, quanto più lenta è la combustione e tanto più piccolo è l’anticipo all’accensione o all’iniezione del combustibile. La misura della temperatura viene fatta mediante pirometri o termo-coppie.

Capitolo 3. Categorie di inquinanti aerodispersi ed effetti sull'organismo

3.1 Le intossicazioni di origine occupazionale

La tossicologia occupazionale è quella branca della medicina del lavoro che studia le modalità di penetrazione degli xenobiotici all'interno dell'organismo del lavoratore e gli effetti che tale contaminazione può provocare. Le conseguenze di tali sostanze sono a carico della sicurezza del lavoratore, attraverso il rischio di insorgenza di infortuni più o meno gravi, oppure a danno della salute, con la manifestazione di patologie di natura cronica.

Nell'ambito di questa sperimentazione, gli xenobiotici studiati, sono i composti chimici che si trovano miscelati nel gas di scarico emesso durante il funzionamento delle attrezzature portatili, quali motoseghe e decespugliatori.

La penetrazione nell'organismo del lavoratore, avviene prevalentemente attraverso le vie aeree dello stesso, anche se alcune sostanze, ad esempio quelle liposolubili, sono introitate con la cute e gli occhi oppure per mezzo delle mucose del naso, della bocca e dell'apparato digerente. Per la determinazione della dose, o meglio della concentrazione di sostanza introitabile, è necessario considerare sia la quantità dello xenobiotico nell'atmosfera di lavoro, sia l'esposizione, cioè la durata del contatto sostanza-lavoratore.

Ovviamente quest'ultimo parametro assume un valore che al massimo equivale ad 8 ore, durante la giornata di lavoro, oppure se si considera l'intera settimana, 40 ore.

La nocività di uno xenobiotico è influenzata anche dalle modalità di lavoro in quanto, se da un lato un lavoro pesante può condizionare un maggiore assorbimento (dovuto alla maggiore quantità di aria ventilata nell'unità di tempo), dall'altro, l'uso di mezzi protettivi

(maschere con filtri[50] etc.) posso ridurre notevolmente la concentrazione della sostanza che arriva agli alveoli. La penetrazione alveolare e quindi la diffusione nel sistema circolatorio, dipende dalla capacità di diffusione attraverso la membrana alveolo-capillare, in relazione alla grandezza molecolare e alla solubilità della sostanza con il sangue.

L'altra via di penetrazione, accennata precedentemente, è quella cutanea, attraverso la quale le sostanze procedono in funzione della loro lipofilia e dello stato di dissociazione. Infatti, le sostanze liposolubili e in forma ionizzata passano più facilmente le membrane cellulari. Questa modalità di penetrazione, dipende molto anche dallo stato della cute, soprattutto in relazione all'integrità del film idrolipidico e dello strato corneo, oltre che dalla presenza di eventuali lesioni o situazioni patologiche particolari (eczema, acne, psoriasi, etc.). La via digestiva è, in genere, ritenuta di scarsa importanza, in quanto l'ingestione di un tossico può avvenire solo a causa di eventi accidentali. Solo i metalli possono venire assorbiti per via intestinale a seguito di contaminazione dei cibi da mani imbrattate o per ingestione di muco proveniente dalle vie aeree.

Gli xenobiotici una volta penetrati nel torrente circolatorio[51], sono veicolati ai vari tessuti, dove possono esplicare la loro azione tossica, subendo un processo di biotrasformazione metabolica, oppure depositarsi. Il fegato è il principale organo deputato alla trasformazione metabolica delle sostanze esogene che attraverso reazioni di idrolisi, ossido-riduzione e coniugazione vengono rese innocue o meno tossiche. Alla fine si ottengono composti idrosolubili che passano all'emuntorio renale per essere escreti con le urine, dove possono essere dosati a fini diagnostici (indicatori biologici). Non è detto tuttavia che questo processo di detossificazione sia sempre efficace in quanto, in alcuni casi, può accadere che una sostanza, relativamente poco tossica, venga trasformata in un

---

[50] Maschere dotate di filtri, guanti, tuta protettiva etc, rappresentano i DPI (*Dispositivi di protezione individuale*) necessari alla salvaguardia dell'operatore dall'esposizione al rischio chimico

[51] In alcuni casi, i xenobiotici possono legarsi alle proteine plasmatiche

composto più tossico; è il caso ad esempio del benzene che viene attivato a benzene-epossido.

Questa capacità di biotrasformazione può presentare notevoli variazioni da individuo ad individuo essendo influenzata da numerosi fattori di seguito riportati.

* l'età: nei soggetti anziani le attività metaboliche sono rallentate;
* la costituzione corporea: le sostanze si accumulano nel tessuto adiposo da cui vengono lentamente rilasciate;
* l'induzione enzimatica: molte sostanze chimiche sono induttori enzimatici e quindi possono accelerare la trasformazione propria e di altre sostanze;
* lo stato fisiologico dell'organo o dell'apparato: variazioni circadiane, irrorazione sanguigna etc.

La principale via di eliminazione delle sostanze tossiche è costituita dall'emuntorio renale, ma nel caso dei gas tossici e dei composti altamente volatili, l'eliminazione avviene con l'aria espirata, in funzione del loro gradiente di concentrazione tra sangue e aria alveolare. Altre vie di eliminazione sono le feci, a seguito di escrezioni biliari o di secrezioni dalla barriera intestinale, il sudore e la saliva.

Non sempre la relazione tra la dose di esposizione e l'effetto[52] o la risposta[53] è di tipo lineare. Generalmente, con l'aumentare delle dose aumentano sia l'entità dell'effetto sia il numero di persone coinvolte, ma per alcune sostanze vi può essere una relazione di tipo esponenziale, ossia per piccoli aumenti di dose l'effetto o la risposta crescono molto più marcatamente, oppure vi possono essere delle "curve di soglia", quando la risposta o l'effetto compaiono solo dopo il superamento di una determinata concentrazione critica. Nella valutazione del rischio chimico dovuto all'esposizione degli addetti alla motosega agli

[52] In medicina occupazionale si definisce *effetto*, la presenza di un'alterazione biologica in un organismo
[53] In medicina occupazionale si definisce *risposta*, la percentuale di soggetti che presentano un certo effetto

inquinanti aerodispersi, si esegue quest'ultima analisi, e cioè si confrontano le concentrazione rilevate per ciascuna sostanza, con i valori limite di soglia presenti in bibliografia (confronta il Paragrafo 4.10).

Per quanto riguarda la risposta fisiologica alla contaminazione da una sostanza, occorre tener presente che gli individui possono reagire in maniera diversa. Vi possono essere infatti dei soggetti che presentano una maggiore suscettibilità all'azione tossica, influenzata da altri fattori, come le condizioni genetiche, le condizioni fisiologiche (ad esempio l'età), le condizioni patologiche (epatopatie e nefropatie) e lo stile di vita (il consumo di alcolici o di farmaci).

3.2 Principali categorie di inquinanti aerodispersi presenti nei gas di scarico delle attrezzature portatili

Le principali "famiglie" di composti presenti nei gas di scarico generati durante il funzionamento delle attrezzature portatili, quali motoseghe, decespugliatori, rasaerba, etc., e potenzialmente pregiudizievoli alla salute dell'operatore sono:

1. composti organici volatili o *VOC*[54] o *SOV*[55], a loro volta distinti in:
   a) idrocarburi aromatici e alifatici (*HC*)[56];
   b) idrocarburi aromatici policiclici (*HC*)[55];
2. monossido di carbonio (*CO*);
3. ossidi di azoto (NO_x) e altri ossidi;
4. aldeidi.

Costituiscono le emissioni delle attrezzature di cui sopra, anche gli oli in soluzione gassosa, originatisi dal lubrificante per il motore e da quello per la catena, e la segatura e

[54] L'acronimo V.O.C. sta per *Volatile Organic Compound*
[55] L'acronico S.O.V. sta per *Sostanza Organica Volatile*
[56] Entrambi sono rappresentati dalla medesima formula chimica HC, indicante appunto la miscela di idrocarburi

la polvere di legno che si formano durante il taglio eseguito con la motosega o il decespugliatore. In questa sede, la valutazione del rischio legato all'inalazione e alla respirazione[57] delle polveri da parte dell'operatore, non'è considerata.

Dal confronto tra le emissioni prodotte da un autoveicolo e quelle di un'attrezzatura portatile, le differenza non'è molta e addirittura, come nel caso degli idrocarburi incombusti (*HC*), l'emissione delle motoseghe è superiore. Inoltre bisogna tenere conto del fatto che in quest'ultime, i fumi di scarico, investono direttamente l'operatore, anche se da parte delle ditte costruttrici sono adottate tutte le misure necessarie a prevenire il fenomeno[58].

	CO		**HC**		**NO_x**	
	g/l	g/l?kW	g/l	g/l?kW	g/l	g/l?kW
Motosega 3 kW	367	122	145,5	48,5	0,255	0,085
Autoveicolo 50 kW	743	15	145,5	1,5	31,4	0,628

Tabella 9 Confronto emissioni tra una motosega ed una automobile [Rubino G.F., Pettinati L., Costa G]

Solo per quanto riguarda gli ossidi di azoto il potenziale inquinante della motosega è inferiore a quello di un autoveicolo mentre le emissioni di monossido di carbonio e di idrocarburi sono di 8÷30 volte più elevate di quelle prodotte da un autoveicolo.

Nel corso dei paragrafi seguenti, è data una descrizione sintetica delle famiglie di sostanze tossiche e sono riportati anche i principali effetti sull'uomo.

3.2.1 Composti organici volatili

Con il nome di *VOC*, ci si riferisce ai gruppi di sostanze quali gli idrocarburi aromatici (il cui capostipite è il benzene), gli idrocarburi alifatici (il capostipite è il metano) e gli idrocarburi aromatici policiclici o *IPA.* Questi sono composti organici volatili. comprendenti una vasta gamma di sostanze organiche generate dalle attività umane o naturali. Essi

[57] Si definisce respirazione quando l'aria e l'eventuale inquinante interessa il livello alveolare, mentre per inalazione si intende il flusso d'aria che interessa le sole vie aeree principali (naso, bocca e bronchi) e in cui, l'eventuale inquinante può essere intercettato (se di natura polverulenta) e bloccato dalle mucose

[58] Infatti gli ugelli di scarico del silenziatore (marmitta) delle attrezzature portatili, sono disposti all'opposto rispetto la posizione occupata dall'operatore. Tuttavia cambiamenti repentini di posizione, nonché folate improvvise di vento, possono spostare la nube dei gas di scarico, a ridosso del lavoratore

sono caratterizzati da basse pressioni di vapore a temperatura ambiente (punti di ebollizione variabili da 50 a 260°C) e quindi si trovano allo stato di gas alle condizioni di temperatura e pressione esistenti a livello troposferico. In atmosfera, sia presso le aree urbane che in quelle più remote, il numero dei composti organici volatili misurati, è estremamente alto. Possono essere semplici idrocarburi saturi od insaturi, a molecola lineare e non, composti esclusivamente da carbonio ed idrogeno, o da molecole più complesse in cui , tra i più diffusi, sono presenti gli atomi di azoto, ossigeno e cloro (chetoni, aldeidi, alcoli, acidi ed esteri).

A livello naturale si ha la presenza di 1,0-2,0 ppm di metano, la più semplice molecola organica esistente, e valori inferiori a 0,1 ppm per la totalità di tutti gli altri idrocarburi più complessi.

Valori così elevati sono giustificabili dall'elevato numero di processi di decomposizione biologica della materia organica ad opera delle biomasse. Quantità più modeste sono invece attribuibili ad attività geotermiche, a giacimenti fossili, al gas naturale, al petrolio ed ai processi di combustione.

La fonte maggiore dei composti organici prodotti dall'uomo, è sicuramente quella dovuta al traffico autoveicolare. Infatti mentre nei fumi di combustioni delle centrali termiche (combustione a pressione costante) il contributo all'inquinamento atmosferico in idrocarburi incombusti, o parzialmente combusti sotto forma di aldeidi od acidi organici, è modesto, quello dovuto alla combustione per la motorizzazione risulta molto elevato (combustione a volume costante). Essendo molto variegato il numero di possibili molecole organiche immesse in atmosfera, è praticamente impossibile la descrizione e la conoscenza di tutti i processi in cui queste sono implicate.

Sull'uomo gli effetti dannosi sono generati prevalentemente dalle macromolecole, come i *pireni* e i *policiclici aromatici*, dalle molecole attivate ad esempio per reazione

fotochimica che essendo quindi piuttosto reattive, svolgono un’azione di sicuro interesse tossicologico, ed infine dalle molecole così come si presentano, di cui sono ormai comprovate le azioni nocive, come ad esempio il *benzene*.

Si nota una recrudescenza dell’azione tossicologica dei *VOC* qualora questi composti siano supportati da vettori, quali il pulviscolo, il particolato, la segatura e le polveri di legno. Questi fungono da substrato di trasporto per una introduzione permanente a livello polmonare degli inquinanti organici. E’ inutile affermare come durante l’attività della motosega e del decespugliatore, la formazione di questi vettori è piuttosto abbondante, data la produzione di grandi quantità di segatura e polvere di legno, e come nel caso dei decespugliatori, tosaerba, soffiatori etc., di materia fine nella fase di taglio o spostamento dell’erba.

Anche se non’è possibile dare un quadro sintomatologico cronico ed acuto generale per i *VOC*, si può afferamare che quasi tutti, causano irritazione, secchezza e bruciore alle mucose che possono degenerare in nevralgie, stanchezza, difficoltà di concentrazione e disturbi neuro-vegetativi. L’esposizioni ad elevate concentrazioni di miscele di *VOC* agisce direttamente sul sistema nervoso centrale. Alcuni *VOC*, specialmente il benzene ed altri idrocarburi clorati, sono cancerogeni negli animali e nell'uomo.

Come precedentemente accennato, è possibile distinguere i composti organici volatili nella sottofamiglia degli idrocarburi aromatici alifatici e in quella degli aromatici policiclici.

3.2.1.1 Idrocarburi aromatici ed alifatici

Appartengono a questa categoria gli idrocarburi aromatici, quali il *benzene*[59] (o *benzolo*), il *toluolo* e lo *m-xilolo*, gli idrocarburi alifatici come il *n-esano* ed il *pentano* e gli alcoli *metanolo* ed *etanolo*. Le quantità emesse da una motosega e da un decespugliatore con motore a due tempi, possono superare i 500g/h.

[59] E’ sicuramente l’aromatico più importante nella nostra sperimentazione. La sua formula chimica è C_6H_6

Queste sostanze penetrano attraverso le vie respiratorie o, come nel caso del *benzene*, *etilbenzene* ed *isopropilbenzene*, anche attraverso la pelle.

La concentrazione di idrocarburi nell'aria di respirazione di ciascun operaio subisce notevoli variazioni in funzione del regime di rotazione del motore della macchina, che passa dal valore minimo a quello massimo con notevole frequenza a causa delle modalità d'impiego della macchina.

Gli effetti potenziali sull'operatore forestale esposto a concentrazioni di idrocarburi nell'aria, sono molto gravi: leucemia, tumori alle vie respiratorie e dell'intestino ed altri quadri sintomatologici di tipo acuto (Tabella 9). Per esempio il *benzene* ha una grande affinità per i tessuti ricchi di lipidi (cervello, fegato e midollo) con effetti da intossicazione inalatoria determinante ipersecrezione bronchiale ed edema polmonare. Naturalmente, l'età, la costituzione fisica e la abitudini extra-professionali possono costituire un elemento di variazione anche significativa degli effetti.

I momenti di massima suscettibilità per l'operatore sono rappresentati dalle fasi di lavoro effettivo, quando cioè la macchina lavora con il motore a pieno regime. Altro momento critico è rappresentato dalla fase di rifornimento (operazione che per la motosega deve essere ripetuta circa otto volte al giorno, per un'esposizione media di circa un minuto alla volta) dove l'operatore può inalare i vapori di benzina.

3.2.1.2 Idrocarburi aromatici policiclici

Gli idrocarburi aromatici policiclici rappresentano tra le sostanze emesse dalle motoseghe e dai decespugliatori quelle con il più alto potere cancerogeno. Il *benzo(a)pirene* è l'idrocarburo appartenente a questa categoria più studiato in quanto rappresenta una sostanza-indicatrice per la valutazione dell'inquinamento atmosferico. Nelle città infatti, la concentrazione di *benzo(a)pirene* va da 100 a 400µg/m^3 mentre scende in aperta campagna a 10 µg/m^3. Nelle stazioni forestali durante l'attività lavorativa

non sono rari valori di 20÷25 μg/m^3, apparentemente non elevati, ma in realtà piuttosto importanti dato che l'operaio lavora a breve distanza dalla fonte di emissione e spesso con il tasso di ventilazione polmonare incrementato (60 l/min) a causa dello sforzo fisico.

Il meccanismo con cui questi agenti provocano il cancro è ormai ben chiaro. Nel tentativo di eliminarli, l'organismo ossida questi idrocarburi per renderli più solubili in acqua ed espellerli con le urine; ma proprio questi prodotti dell'ossidazione metabolica sono i veri responsabili del cancro. Per quanto riguarda il *benzo(a)pirene* viene ossidato per via enzimatica in *diolo-epossido*, che reagendo con il DNA cellulare provoca mutazioni che impediscono alle cellule di riprodursi in maniera normale.

Nei gas di scarico, oltre al *benzo(a)pirene* si contano 150 idrocarburi aromatici policiclici, di cui il 50% con potere cancerogeno più o meno spiccato, mentre l'8% ed il 42% mostrano rispettivamente potere cancerogeno incerto e nullo.

Infine, sia gli aromatici che gli alifatici, sono dotati di elevata lipofilia, per cui attraversano facilmente le membrane cellulari andando ad accumularsi nei tessuti ricchi di grassi, come il sistema nervoso, dove svolgono la loro azione lisiva prevalente mediante l'azione disgregante sui costituenti lipidici. Data la loro facile diffusibilità, possono causare frequentemente anche delle intossicazioni acute, la cui gravità dipende essenzialmente dal grado di interessamento del sistema nervoso centrale, soprattutto per gli effetti di tipo depressivo.

Per quanto concerne il contatto con idrocarburi policiclici e aromatici, è da segnalare l'insorgenza di forme acneiche di origine professionale.

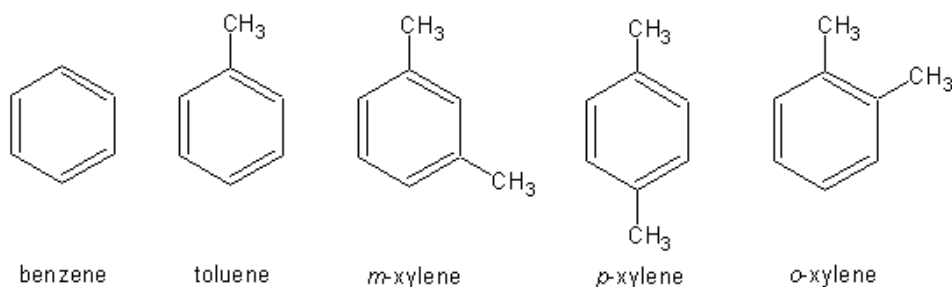



Figura 18 Formule di struttura di alcuni idrocarburi aromatici

3.2.2 Monossido di Carbonio

Il *monossido di carbonio* (formula chimica CO), costituisce la componente principale delle emissioni inquinanti della motosega e del decespugliatore, in particolare quando si adottano regolazioni del carburatore che forniscono miscele di combustibile/aria arricchite, oppure quando la combustione del combustibile avviene in ambiente povero di ossigeno. Il monossido di carbonio è presente in piccola parte anche tra le componenti fisiologiche del sangue umano.

Il *CO* è inodore, incolore, insapore, prodotto dalla combustione incompleta[60] di sostanze organiche quali il carbone, il petrolio, il metano, la benzina etc. Penetrando nei polmoni, il *CO* si diffonde rapidamente nel sangue legandosi all'emoglobina per la quale possiede un'affinità che è circa 200 volte superiore a quella dell'ossigeno (O_2). Una volta fissato al complesso *Hb-CO* (emoglobina-monossido di carbonio) se ne distacca molto lentamente e la sua presenza non è riconoscibile fino a quando non si manifestano i primi effetti, che sono in funzione del tempo di esposizione e della concentrazione del gas. Da recenti studi si è osservato infatti come in un popolamento giovane di conifere, la concentrazione di *CO* all'altezza delle spalle dell'operatore e con calma di vento può

[60] Per combustione incompleta si intende qualsiasi reazione esoenergetica (combustione) che avviene in carenza di ossigeno comburente

variare dall'inizio alla fine del lavoro dal 2,8% a più del 7%, superando le 300 ppm[61]. Di conseguenza variano anche le concentrazioni di monossido di carbonio nell'aria espirata dagli operatori forestali e la percentuale dei complessi *Hb-CO* presenti nel sangue.

Durante l'intossicazione da monossido di carbonio, la pressione parziale di ossigeno nel plasma non si modifica, mentre si ha la caduta della saturazione arteriosa dell'emoglobina cioè l'incremento dei complessi *Hb-CO* e la riduzione dell'emoglobina disponibile per l'ossigeno. In questa circostanza i chemiorecettori carotidei, che sono sensibili alla riduzione di concentrazione di ossigeno del plasma, mancano della stimolazione ipossica e quindi dell'iperventilazione compensatoria. La conseguente ipossia tessutale provoca vasodilatazione compensatoria, con un danneggiamento dei tessuti proporzionale all'attuale fabbisogno di O_2.

Gli effetti acuti dell'incremento dei complessi *Hb-CO* nel sangue sono un sovraffaticamento psicofisico dovuto ad un sovraccarico del sistema nervoso centrale.

Infatti nevralgie, capogiri, conati di vomito, ronzio alle orecchie, difficoltà respiratorie sono purtroppo sintomi molto frequenti nella pratica forestale.

Gli effetti cronici riscontrati negli operai più anziani, implicano l'aumento dei rischi di infarto o di attacchi ischemici transitori, causa la cattiva ossigenazione delle coronarie e del muscolo cardiaco. Tali disturbi tuttavia possono essere semplicemente eliminati con l'allontanamento temporaneo (almeno 10 minuti) dal posto di lavoro inquinato.

È bene ricordare inoltre come l'aumento dei complessi *Hb-CO* nel sangue e la conseguente riduzione dell'ossigeno trasportato determini all'operatore una riduzione graduale ed impercettibile dei riflessi e dell'attenzione, aumentando così le probabilità di infortuni gravi. Anche per questa ragione, durante la visita periodica presso il medico del

---

[61] Cavalli R. Menegus G., *Esposizione ad agenti chimici nell'impiego della motosega – soluzioni tecniche ed organizzative.* Giornale degli Igienisti Industriali – vol.23 – n.4 – ottobre 1998

lavoro, il motoseghista[62] è sottoposto a controllo cardiologico, svolto in modo ancora più approfondito al superamento del 40° anno di età.

Per quanto concerne le concentrazioni limite, questo inquinante inizia a creare problemi se è in concentrazioni superiori ai 3,6 mg/m^3 (3,1 ppm o parti per milione).

3.2.3 Ossidi di azoto ed altri ossidi

Si definiscono ossidi di azoto una serie di composti fra azoto e ossigeno nei vari stati di ossidazione (N_2O, NO, N_2O_3, NO_2, N_2O_4, N_2O_5), mentre sotto l'aspetto dell'inquinamento dell'aria sono presi in considerazione soprattutto l'ossido di azoto (NO) ed il biossido di azoto (NO_2). Vengono prodotti per reazione alle alte temperature tra l'ossigeno e l'azoto dell'aria. Tenuto conto che nell'aria è presente circa il 78% di azoto, è ovvio che qualunque combustione provoca la formazione degli ossidi di tale elemento.

L'ossido di azoto (NO) è un gas incolore e inodore che si forma come primo stadio della reazione fra azoto e ossigeno. Più è elevata la temperatura della combustione, maggiore e la quantità prodotta di NO. Se il raffreddamento è molto veloce, buona parte del monossido viene emesso in atmosfera.

Il biossido di azoto (NO_2) è un gas di odore pungente e soffocante, che si ottiene a partire dal monossido per ulteriore reazione con l'ossigeno. In questo caso invece, contrariamente a quanto avviene per il monossido, alle alte temperature si forma poco NO_2. La formazione di questo inquinante è inoltre catalizzata dalla luce solare ed è correlata alla presenza dell'ozono nei bassi strati dell'atmosfera.

Il contenuto degli ossidi di azoto nei gas di scarico è di scarsa importanza nei motori a due tempi, in quanto mancano le condizioni necessarie alla formazione in quantità rilevanti. Possono avere una certa incidenza nei decespugliatori e nelle attrezzature portatili mosse da propulsori a quattro tempi. Comunque negli scarichi, la concentrazione

---

[62] D.Lgs. 626/1994 di cui all'Art.16 – La sorveglianza sanitaria è, [omissis]

segue un andamento opposto a quello del *CO*; si osservano infatti valori massimi ad accelerazioni elevate, a causa delle maggiori temperature raggiunte nella camera di combustione mentre le concentrazioni sono minori in decelerazione e al minimo.

Dal punto di vista tossicologico il biossido di azoto è molto più nocivo del monossido di azoto e non a caso la normativa italiana pone dei limiti alla concentrazione massima nell'atmosfera di tale gas. Il biossido di azoto a concentrazioni di 10÷20 ppm esercita una azione irritante sugli occhi, sul naso e sulle vie respiratorie. Lo stesso NO_2, introdotto nell'organismo attraverso il processo respiratorio alveolare, si combina con l'emoglobina, modificandone le proprietà chimiche e fisiologiche e dando luogo a formazione di metaemoglobina. Quest'ultima molecola non è più in grado di trasportare l'ossigeno; già a valori intorno al 3÷4% di metaemoglobina si manifestano disturbi a carico della respirazione.

Per quel che riguarda le emissioni di biossido di zolfo, che si origina dall'ossidazione dei composti solforati presenti nella benzina, e dal piombo tetraetile aggiunto come antidetonante nelle vecchie benzine super, risultano assai limitate.

3.2.4 Aldeidi

In termini quantitativi le aldeidi rappresentano il secondo gruppo di composti, dopo il monossido di carbonio, presenti nei gas di scarico della motosega e del decespugliatore. Tra le aldeidi, la *formaldeide*[63] costituisce da sola il 36% del totale.

La concentrazione allo scarico della marmitta è in media di 350 mg/m^3, ma diminuisce con l'arricchimento della miscela aria-combustibile fino ad un valore di 320 mg/m^3 (259 ppm). I rischi connessi all'esposizione alle aldeidi sono la repentina insorgenza di congiuntiviti croniche, irritazione delle mucose e sospetta carcerogenicità.

---

[63] *Formaldeide* e *benzene* secondo lo IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro), sono molto pericolosi per l'uomo, al punto da rientrare nella Classe I, cioè nella classe degli agenti mutageni e cancerogeni

3.2.5 Soluzioni oleose e le poveri di legno

Le soluzioni gassose da oli provengono per il 70% dai lubrificanti del motore e per il 30% da quelli della catena. Questi ultimi sono in assoluto i più pericolosi in quanto presentano un contatto prolungato con l'operatore, specialmente durante la messa a punto e la manutenzione dell'organo di taglio e dato che si diffondono nell'atmosfera attraverso la segatura.

Nell'utilizzo di questi oli è da rammentare l'aumento dei rischi a seguito dell'utilizzo di lubrificanti usati dato che il contenuto di idrocarburi cancerogeni (idrocarburi aromatici policiclici) è da 1000 a 3000 volte superiore rispetto a quelli nuovi. Per scongiurare tale pericolo viene consigliato l'uso di oli di derivazione vegetale.

Il contenuto delle sostanze oleose nell'atmosfera dipende anche dal tipo di utilizzazione che si esegue; infatti durante l'abbattimento può triplicare (da 1 a 3 mg/m^3) rispetto l'allestimento-sramatura.

Gli effetti delle polveri di legno prodotte dalle motoseghe e dai decespugliatori durante le varie fasi delle utilizzazioni, non sono stati ancora completamente chiariti.

Tuttavia dal punto di vista sintomatologico si individuano due effetti, uno di tipo allergenico con allergie croniche ed acute, e l'altro di tipo cancerogeno con l'insorgenza di tumori alle vie respiratorie, a causa del contenuto di idrocarburi.

Le patologie di origine cutanea più frequenti, prodotte dal contatto sia con le polveri di legno, sia con gli idrocarburi presenti nelle soluzioni oleose e nei gas di scarico, sono le dermatiti ortoergiche[64] o da contatto irritante e le dermatiti allergiche da contatto, o eczema allergico da contatto.

Le prime sono le più comuni e sono causate dall'azione diretta di sostanze chimiche o di agenti fisici dotati di potere irritante (tossico e caustico) o in grado di evocare una

[64] Ortoergiche o dermatosi allergiche

risposta infiammatoria. Queste lesioni possono andare dal semplice eritema alla disepitelizzazione e fissurazione, a forme orticarioidi ed eczematose, fino all'ustione e all'ulcerazione (ad esempio da acidi e basi forti).

Nelle forme lievi la sintomatologia è essenzialmente caratterizzata da bruciore e prurito; nelle forme più gravi vi è dolore, anche intenso, e possibilità di esiti distrofici e/o discromici.

3.2.6 Altri composti tossici

Oltre ai composti nocivi visti fino ad ora, possono essere presenti nell'atmosfera di lavoro dell'addetto, altri gas tossici, la cui origine può essere sempre legata alla combustione del motore, oppure che possono sprigionarsi durante le fasi di pulizia, manutenzione e rifornimento etc. delle attrezzature considerate. Questi possono svolgere la loro azione tossica direttamente nelle zone di contatto lungo l'albero respiratorio, dove, sciogliendosi con l'acqua del muco bronchiale, formano composti acidi altamente irritanti e corrosivi, come ad esempio i gas nitrosi (ossidi di azoto etc.) che formano l'acido nitrico. Causano pertanto facilmente intossicazioni acute, in genere conseguenti a eventi accidentali o manovre improprie. Gli effetti possono essere immediati come la flogosi[65] o l'asma, ma anche leggermente ritardati di alcune ore, in relazione alle penetrazioni del gas nel polmone profondo e con successiva reazione tissutale, in forma di edema[66] polmonare tardivo. La prevenzione di queste situazioni, si attua attraverso delle misure di prevenzione, come ad esempio il rifornimento o la pulizia delle macchine in luoghi arieggiati, e con l'adozione di dispositivi di protezione individuale, quali guanti, mascherine dotate di filtri, occhiali etc.

[65] Flogosi o infiammazioni
[66] Edema è un aumento del liquido detto liquido interstiziale localizzato nei tessuti all'esterno dei vasi sanguigni e delle cellule. L'edema può interessare una sola zona, come ad esempio una gamba, oppure può essere generalizzato, quando si manifesta in tutto l'organismo; in questo caso, prima che l'edema sia clinicamente evidente, devono accumularsi diversi litri di liquido; per questo motivo l'aumento di peso precede generalmente le altre manifestazioni dell'edema

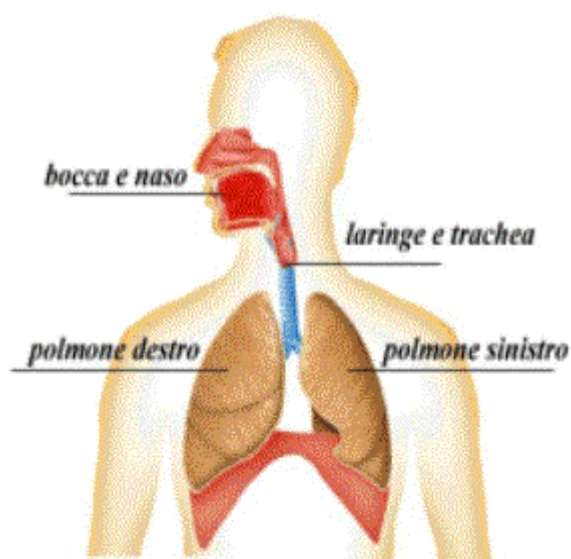



Figura 19 Apparato respiratorio [wikepedia.org]

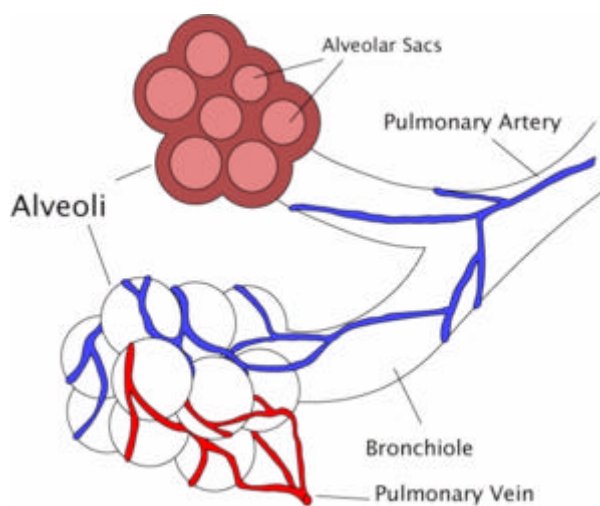



Figura 20 Alveoli polmonari [wikepedia.org]

AGENTE	EFFETTI ACUTI	EFFETTI CRONICI	INDICATORISPECIFICI
Benzene	Vertigini, nausea, vomito, cefalea, depressione, edema polmonare, pancitopenia.	Astenia, cefalea, vertigini,emorragie, dimagrimento, emopatia iporigenerativa, leucemie acute e croniche.	Fenoli urinari.
Toluene e xilene	Narcosi con cefalea, vertigini, sonnolenza, obnubilamento del sensorio, coma	Cefalea, astenia, sonnolenza, irritazione di cute, mucose oculari e vie aeree.	Acido ippurico e metilippurico nelle urine.
Formaldeide	Tosse, catarro, asma, irritazioni cutanee.	Bronchite asmatica, dermatiti eczematose.	Acido formico nelle urine.
N-esano	Narcosi, cefalea, nausea, paresi e paralisi periferiche.	Dispepsia, astenia e polinevriti sensitivo-motoria.	2,5-eandione nelle urine.
Metanolo	Acidosi metabolica, narcosi, cefalea, vertigini, nausea, vomito, dolori epigastrici, nevrite ottica retrobulbare, broncopolmonite.	Congiuntiviti, cefalea, vertigini, insonnia, disturbi dispeptici, nevrite ottica retrobulbare.	Acido formico nelle urine.
Gas nitrosi	Tosse, catarro, dispnea, broncospasmo, alveolite ed edema polmonare.	Bronchite cronica ostruttiva asmatica, enfisema.	
Ossido di carbonio	Astenia, cefalea intensa, acufeni, nausea e vomito, obnubilamento del sensorio, sonnolenza, crisi stenocardiche, convulsioni con contrazioni, coma, fibrillazione ventricolare.	Astenia, cefalea, vertigini, sindromi infartuali, aritmie, neurite ottica, sindromi parkinsoniane, polineuropatie periferiche, sindromi neuropsichiatriche.	Carbossiemoglobinemia

Tabella 10 Quadro dei principali effetti acuti e cronici dovuti all'esposizione agli inquinanti aerodispersi [Rubino G.F., Pettinati L., Costa G]

3.3 Il meccanismo della respirazione

Per *respirazione*, o *ventilazione polmonare*, si intende il passaggio dell'aria dall'ambiente esterno all'albero bronchiale, e agli alveoli e viceversa. Le azioni che rendono possibili tali movimenti sono denominate *inspirazione* ed *espirazione*.

3.3.1 L'inspirazione

L'inspirazione consiste nella immissione di aria esterna attraverso la contrazione delle fibre muscolari diaframmatiche qualora la pressione dei polmoni e degli alveoli diminuisca rispetto quella atmosferica. Il diaframma è posto alla base dei polmoni ed è costituito da due gruppi di fibre muscolari striate: anteriormente dalle fibre costali che si originano dalle coste e dallo sterno e posteriormente dalle fibre crurali che partono dalle vertebre. Entrambi i gruppi hanno la loro inserzione nella porzione tendinea centrale del diaframma. Le fibre muscolari vengono stimolate a contrarsi da impulsi condotti dai nervi frenici dei complessi cervicali.

Mentre il diaframma si contrae abbassandosi, i muscoli intercostali esterni e determinati muscoli toracici possono essere stimolati a contrarsi. Tali movimenti determinano il sollevamento delle coste e dello sterno aumentando ulteriormente il volume della cavità toracica e causando, conseguentemente, un'ulteriore diminuzione della pressione endoalveolare, cosicché un maggiore volume d'aria viene spinto nei polmoni. La dilatazione polmonare è favorita dal fatto che la pleura parietale, che riveste la parete interna della cavità toracica, e la pleura viscerale, che riveste i polmoni, sono separate da un sottile velo di liquido sieroso. La tensione superficiale delle molecole d'acqua che compongono il suddetto liquido consente di mantenere aderenti le superfici umide delle pleure. Ne consegue che, quando la parete toracica si solleva e si espande grazie al movimento dei muscoli intercostali, la pleura parietale partecipa al movimento e la pleura viscerale segue lo spostamento permettendo la dilatazione dei polmoni in tutte le direzioni.

La tensione superficiale tra le pleure è sufficiente a causare anche il collasso degli alveoli la cui superficie interna è del pari umida. Tuttavia, alcune cellule alveolari (cellule alveolari di II tipo) sintetizzano una miscela di lipoproteine, detta *surfattante*, che viene secreta in continuazione nel lume degli alveoli e riduce la tensione superficiale diminuendo la tendenza degli alveoli a collassare quando il volume dei polmoni è ridotto.

Per effettuare un atto respiratorio più profondo del normale, il diaframma e i muscoli intercostali esterni possono contrarsi più intensamente; possono inoltre contribuire a sollevare ed espandere ulteriormente la gabbia toracica, ampliare il volume e diminuire la pressione interna dei muscoli accessori quali il piccolo pettorale e lo sternocleidomastoideo.

3.3.2 L'espirazione

L'espirazione avviene normalmente grazie al ritorno elastico dei tessuti e all'effetto della tensione superficiale. I polmoni e la parete toracica contengono una notevole percentuale di tessuto elastico che, durante la dilatazione polmonare nella fase di inspirazione si distende; contemporaneamente, quando il diaframma si abbassa, gli organi addominali sottostanti vengono compressi. Quando il diaframma e i muscoli intercostali si rilassano dopo l'inspirazione, i tessuti elastici ritornano alla loro posizione e riportano i polmoni e la gabbia toracica allo stato di partenza; allo stesso modo i tessuti elastici degli organi addominali fanno riprendere a questi ultimi la forma precedente contribuendo alla spinta del diaframma verso l'alto. Nel contempo, la tensione superficiale esistente tra le superfici di rivestimento alveolari tende a provocare il collasso degli alveoli. Ognuno di questi fattori tende ad aumentare la pressione endoalveolare di circa 1 mmHg[67], rispetto alla pressione atmosferica, cosicché l'aria all'interno dei polmoni viene espulsa attraverso le vie respiratorie; pertanto l'espirazione è un processo passivo.

---

[67] Misura della pressione atmosferica misurabile in millimetri di mercurio

Quando si vuole espellere più aria del normale, è possibile contrarre i muscoli intercostali interni; il loro movimento abbassa e comprime le coste e lo sterno aumentando la pressione nei polmoni. Inoltre, i muscoli della parete addominale, tra cui l'obliquo interno ed esterno, il traverso e il retto dell'addome, possono agire comprimendo gli organi addominali; pertanto essi provocano un aumento della pressione endoaddominale e spingono il diaframma contro la base dei polmoni in modo da espellere una maggiore quantità di aria.

3.3.3 Capacità respiratorie

In base allo sforzo compiuto dal soggetto, corrispondono diversi volumi d'aria inspirata o espirata dai polmoni e la spirometria, ovvero la misurazione di tali volumi, individua diverse capacità respiratorie tra le quali, per il nostro fine, sono importanti quelli riportati nella Tabella 11.

TERMINE	VOLUME MEDIO	DESCRIZIONE
Volume corrente	500 cm^3	Volume inspirato o espirato durante un atto respiratorio normale
Volume residuo	1200 cm^3	Volume che rimane costantemente nei polmoni
Capacità inspiratoria	3500 cm^3	Volume massimo di aria inspirabile dopo espirazione del volume corrente
Capacità polmonare totale	5800 cm^3	Volume totale di aria che può essere contenuta dai polmoni

Tabella 11 Volumi polmonari [Rubino G.F., Pettinati L., Costa G]

Le visite periodiche condotte presso il medico del lavoro, possono prevedere le misurazioni dei volumi respiratori (spirometria), al fine seguire il decorso di alcune malattie, quali ad esempio la polmonite, l'enfisema o il carcinoma polmonare che implicano la perdita di parenchima[68] funzionale e quindi del volume d'aria respirabile. Tali misurazioni

[68] Il *parenchima* è il tessuto che costituisce un organo, in grado di esplicare lo specifico tipo di funzione vitale dell'organo stesso. Esempi di parenchima sono quello *renale*, quello *epatico* e nel nostro caso, quello *polmonare*

possono inoltre fornire un valido contributo nel controllo della progressione dell'asma bronchiale o di patologie ostruttive delle vie respiratorie di origine professionale.

Per ovvie ragioni, anche gli addetti all'utilizzo della motosega, visto il rischio di esposizione ad agenti tossici aerodispersi, non possono esimersi dall'effettuazione di questi checkup.

3.3.4 Valutazione della ventilazione alveolare

Il volume respiratorio o quantità di aria immessa nelle vie respiratorie ogni minuto, è calcolato moltiplicando il volume corrente (VC) per la frequenza respiratoria. Pertanto, se il VC è di 500cm^3 e la frequenza respiratoria è di 12 atti respiratori al minuto, il volume è pari 6.000cm^3/min, corrispondenti a 60 litri al minuto (Equazione 11).

$$\text{Volume respiratorio} = \text{Volume corrente} \times \text{Frequenza respiratoria}$$

```
Esempio
Volume respiratorio, 500 cm3
Frequenza respiratoria, 12 atti al minuto
```

$$\text{Volume respiratorio} = 500cm^3 \times 12 atti/min = 6.000cm^3/min$$

Equazione 11 Calcolo del volume respiratorio

Tuttavia solo una parte dell'aria inspirata raggiunge gli alveoli, gran parte rimane nelle vie aeree occupando lo spazio morto fisiologico. Il volume di aria che raggiunge gli alveoli ed è disponibile per gli scambi gassosi viene calcolato sottraendo lo spazio morto fisiologico, circa 150 cm^3, dal volume corrente di 500 cm^3.

Se si moltiplica il volume risultante di 350 cm^3, per la frequenza respiratoria, si ottiene una ventilazione alveolare di 4.200 cm^3/min (Equazione 11).

La ventilazione alveolare è uno dei principali fattori che influisce sulle concentrazioni alveolari di ossigeno e anidride carbonica e, pertanto, incide anche sugli scambi gassosi tra aria alveolare e sangue.

$$\text{Ventilazione alveolare} = \text{Volume risultante} \times \text{Frequenza respiratoria}$$

```
Esempio
Volume respiratorio, 500 cm³
Spazio morto fisiologico, 150 cm³
Volume risultante, 500 cm³ - 150 cm³ = 350 cm³
Frequenza respiratoria, 12 atti al minuto
```

$$\text{Ventilazione alveolare} = 350\,cm^3 \times 12\,atti/min = 4.200\,cm^3\ /\ min$$

Equazione 12 Calcolo della ventilazione alveolare

Per quanto riguarda l'attività lavorativa condotta con le attrezzature portatili, specialmente durante l'attività svolta in bosco, è caratterizzata da un importante affaticamento psicofisico del soggetto, a causa dell'accidentalità e asperità del terreno, e dai continui cambiamenti di postura necessari all'esecuzione dei tagli di abbattimento.

In queste circostanze, il ricambio d'aria nei polmoni può assumere valori notevoli, dell'ordine di 60 litri al minuto. In questi casi, in base al calcolo dell'Equazione 13, la frequenza respiratoria raggiunge i 120 atti al minuto (due ogni secondo).

$$\text{Frequenza respiratoria} = \frac{\text{Ventilazione alveolare}}{\text{Volume risultante}} = \frac{60.000\,cm^3}{500\,cm^3} = 120\ atti/min$$

Equazione 13 Calcolo della Frequenza Respiratoria in condizioni di affaticamento

Questa frequenza respiratoria apporta agli alveoli una volume d'aria di 42 litri al minuto, e se una tale quantità d'aria presentasse degli inquinanti aerodispersi, si potrebbero manifestare delle complicazioni, negli scambi gassosi degli alveoli stessi. Infatti, un maggiore volume d'aria, può contenere una maggiore quantità di agenti tossici.

3.3.4.1 Scambi gassosi negli alveoli

Gli alveoli sono microscopiche strutture aciniformi raggruppate alle estremità distali dei dotti alveolari. Ogni singolo alveolo è costituito da una piccola camera delimitata da una sottile parete che lo separa dagli alveoli adiacenti. Le pareti di alcuni alveoli

presentano delle minuscole comunicazioni, dette pori alveolari, la cui funzione è quella di permettere il passaggio dell'aria da un alveolo all'altro in modo da garantire una comunicazione alternativa nell'eventualità di un'ostruzione delle normali vie di accesso.

I pori alveolari permettono anche il libero passaggio tra gli alveoli ai macrofagi alveolari che contribuiscono ad eliminare per fagocitosi diversi materiali inalati, tra cui i batteri. La parete alveolare è costituita da un rivestimento interno di epitelio pavimentoso semplice e da una densa rete di capillari a loro volta rivestiti da cellule endoteliali piatte. Questi due strati cellulari sono separati da sottili lamine basali tra cui si trovano fibre elastiche e collagene con funzione di sostegno delle pareti alveolari. Tra l'aria contenuta negli alveoli e il sangue dei capillari si interpongono almeno due strati cellulari e le rispettive lamine basali che, nel loro complesso, formano la *membrana respiratoria* (membrana alveolo-capillare) attraverso la quale si opera lo scambio gassoso tra aria e sangue.

La diffusione delle molecole gassose avviene da regioni in cui la concentrazione (o pressione) del gas è maggiore, alle regioni in cui la concentrazione è minore.

Volumetricamente l'aria atmosferica presenta il 78% di azoto, il 21% di ossigeno, lo 0,04% di anidride carbonica e piccole quantità di altri gas di rilevanza scarsa o nulla dal punto di vista fisiologico. Pertanto la pressione parziale dell'ossigeno (pO_2) è di 160 mmHg (il 21% di 760 mmHg[69]) e quella dell'anidride carbonica (pCO_2) è di 0,3 mmHg (0,04% di 760 mmHg).

Dato che la pCO_2 nel sangue dei capillari è di 45 mmHg e la pCO_2 dell'aria alveolare è di 40 mmHg, per differenza tra le due pressioni parziali l'anidride carbonica si diffonderà nell'aria alveolare attraverso la membrana respiratoria; quando il sangue abbandona i polmoni, la sua pCO_2 è di 40 mmHg, ovvero circa pari alla pCO_2 dell'aria alveolare.

---

[69] 760 mmHg, è il valore della pressione atmosferica e cioè del peso della colonna d'aria (miscela dei gas della Figura 8) che insiste su un centimetro quadrato di superficie

Allo stesso modo la *pO_2* ematica è di 40 mmHg e quella alveolare è di 104 mmHg; pertanto si avrà diffusione di ossigeno dall'aria al sangue e quest'ultimo defluisce dai polmoni con una pO_2 di 100 mmHg.

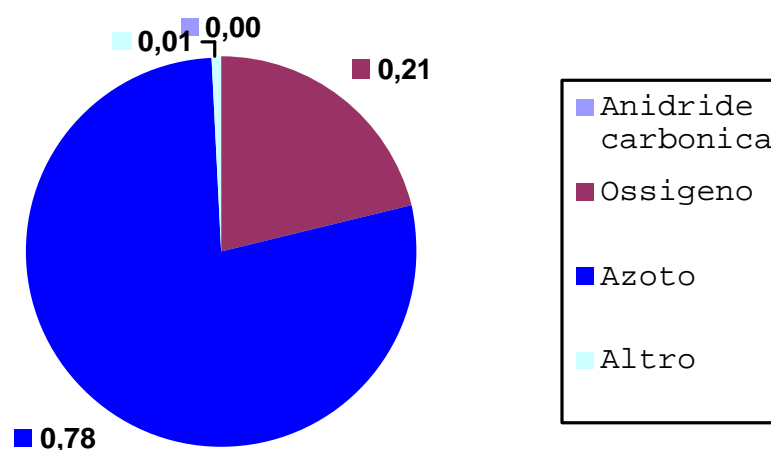



Figura 21 Composizione dell'aria atmosferica

3.3.4.2 Trasporto ematico nel sangue

Non appena i gas entrano nel torrente ematico si dissolvono nella frazione liquida detta plasma e si combinano chimicamente con vari componenti ematici. Questo trasporto è di due specie:

1. il trasporto dell'ossigeno;
2. il trasporto dell'anidride carbonica.

L'impiego più importante dell'ossigeno all'interno dell'organismo è nella respirazione cellulare. Essa implica la demolizione di molecole quali il glucosio con la conseguente liberazione di energia che viene trasferita alle molecole di ATP.

Per quanto concerne il suo trasporto, la quasi totalità (circa il 98%), si combina con l'emoglobina degli eritrociti, che devono il loro colore rosso scuro proprio alla presenza di tale sostanza. La parte restante si scioglie nel plasma. Man mano che l'ossigeno si

scioglie nel sangue, si combina rapidamente con l’emoglobina formando l’ossiemoglobina. Tale reazione chimica è tanto più veloce quanto più la pO_2[70] nel sangue è alta.

I legami chimici tra l’ossigeno e le molecole di emoglobina sono alquanto instabili e, diminuendo la pO_2, l’ossigeno viene liberato dalle molecole di ossiemoglobina ed entra per diffusione nei tessuti ove viene utilizzato per la respirazione cellulare. La quantità di ossigeno che si combina con l’emoglobina dipende dalla pO_2; quanto più la pO_2 è alta tanto maggiore è il volume di ossigeno che si combina fino a giungere alla saturazione delle molecole di emoglobina. Il volume di ossigeno che si libera dall’ossiemoglobina dipende dalla concentrazione ematica di anidride carbonica, dal *pH* e dalla temperatura del sangue. Se ad esempio la concentrazione di anidride carbonica (pCO_2) aumenta, l’ossiemoglobina tende a liberare più ossigeno. Lo stesso fenomeno si manifesta, all’ aumentare dell’acidità o della temperatura ematica. Detti fattori inducono un incremento dell’apporto di ossigeno ai muscoli scheletrici soprattutto durante i periodi di attività fisica, poiché l’aumento dell’attività muscolare associata a un maggiore utilizzo di ossigeno provoca un aumento della pCO_2 e della temperatura locale, nonché un abbassamento del *pH*; nel contempo l’apporto di ossigeno alle cellule meno attive è ridotto.

Ovviamente durante le attività logoranti, come quelle legate all’utilizzo delle attrezzature portatili, il meccanismo di liberazione dell’ossigeno, dall’ossiemoglobina a alle cellule dei tessuti, avviene piuttosto di frequente. Infatti anche dopo pochi minuti di lavoro con la motosega, l’operatore aumenta la propria temperatura corporea a causa dell’intensa attività muscolo-scheletrica in atto.

L’affaticamento psicofisico dipende anche dalla quota altimetrica in cui si opera, che nel caso della selvicoltura, vista la sua applicazione prevalente presso le aree collinari e montane, espone l’operatore ad altitudini diverse. Infatti ad alta quota, la percentuale di

[70] Con la simbologia pX_n, ci si riferisce alla pressione parziale della molecola in questione

ossigeno atmosferico non varia (21% circa), ma diminuisce la pO_2 e, di conseguenza, quando si respira, la diffusione dell'ossigeno dagli alveoli al sangue è meno rapida e la capacità di saturazione dell'emoglobina è ridotta. In tali circostanze si possono sviluppare sintomi di carenza di ossigeno (ipossia); a 2500 m circa in soggetti non abituati a soggiornare a tali altitudini subentrano ansia, irrequietezza, aumento della frequenza respiratoria e polso frequente; a 3800 m, ove la pO_2 è solo di 100 mmHg rispetto a 160 mmHg del livello del mare, i sintomi possono includere sonnolenza, fatica mentale, cefalea e nausea. All'aumentare dell'altitudine i sintomi tendono a intensificarsi fino (a 7000 m circa) alla perdita di coscienza e al decesso.

Soprattutto la perdita di concentrazione durante l'utilizzo delle attrezzature portatili, espone l'operatore a grave rischio di infortunio.

Nel trasporto ematico dell'anidride carbonica, si osserva la cessione da parte dei tessuti, della CO_2 al sangue dei capillari in quanto questi presentano una pCO_2 relativamente elevata. L'anidride carbonica viene trasportata ai polmoni in tre forme: in soluzione ematica (solo il 7%), legata chimicamente all'emoglobina o sotto forma di ioni bicarbonato (almeno il 70%). Al contrario dell'ossigeno, che si combina con gli atomi di ferro dell'emoglobina, l'anidride carbonica si lega ai gruppi amminici ($-NH_2$) della stessa; ne consegue che ossigeno e anidride carbonica non sono in competizione tra loro per i legami e possono essere entrambi trasportati contemporaneamente da una molecola di emoglobina.

Quando l'anidride carbonica si combina con l'emoglobina forma un composto reversibile definito carbamminoemoglobina (Hb-CO). Tale sostanza si scompone immediatamente nelle regioni in cui la pCO_2 è bassa, liberando anidride carbonica. Il meccanismo di trasporto più importante prevede la formazione dello ione bicarbonato (HCO_3^-). Secondo questo processo, l'anidride carbonica reagisce con l'acqua formando

acido carbonico (H_2CO_3) che si dissocia quasi immediatamente, liberando ioni idrogeno (H^+) e ioni bicarbonato (HCO_3^-). La maggior parte degli ioni idrogeno si combina rapidamente con l'emoglobina in modo da evitare un accumulo eccessivo ed alterare notevolmente il livello di acidità ematica. Gli ioni bicarbonato tendono ad abbandonare gli eritrociti passando per diffusione nel plasma.

Quando il sangue giunge ai capillari polmonari cede l'anidride carbonica agli alveoli in risposta alla differenza di pCO_2, relativamente bassa dell'aria alveolare. Nel contempo gli ioni idrogeno e bicarbonato negli eritrociti si combinano nuovamente a formare molecole di acido carbonico il quale grazie all'azione dell'anidrasi carbonica, produce anidride carbonica e acqua.

Anche la carbaminoemogobina libera anidride carbonica e, man mano che quest'ultima viene ceduta dal sangue, si stabilisce un equilibrio tra pCO_2 ematica e pCO_2 alveolare.

3.3.5 Fattori che influenzano la respirazione

Oltre al controllo esercitato dal centro respiratorio cerebrale, sulla frequenza e sulla profondità degli atti respiratori agiscono numerosi altri fattori, quali la presenza di certe sostanze chimiche nei liquidi organici, il grado di compliance[71] dei tessuti polmonari e lo stato emozionale del soggetto. Nel centro respiratorio vi sono delle aree chemiosensibili poste nelle porzione ventrale del midollo allungato, in prossimità dell'origine dei nervi vaghi, estremamente sensibili alle variazioni delle concentrazioni ematiche di anidride carbonica e ioni idrogeno: se la concentrazione di queste sostanze aumenta, le aree chemiosensibili inviano segnali al centro respiratorio determinando un aumento della frequenza respiratoria.

[71] Si definisce *compliance* la capacità di dilatarsi elasticamente

Pare sia la presenza di ioni idrogeno piuttosto che la presenza di molecole di anidride carbonica a influenzare le aree chemiosensibili; in ogni caso, quando si inspira dell'aria ricca di anidride carbonica la frequenza respiratoria aumenta. Con l'aumentare della frequenza respiratoria, una maggior quantità di anidride carbonica viene eliminata con l'espirazione, in modo che le concentrazioni ematiche di anidride carbonica e ioni idrogeno si abbassino[72].

Una bassa concentrazione ematica di ossigeno ha uno scarso effetto sulle aree chemiosensibili, ma al contrario le sue variazioni vengono percepite dai chemiorecettori situati nei glomi carotidei e aortici contenuti nelle pareti di alcune arterie di grosso calibro (carotide e aorta) che decorrono nel collo e nel torace. Quando vengono stimolati dall'abbassamento della concentrazione ematica di ossigeno trasmettono impulsi al centro respiratorio che risponde aumentando la frequenza respiratoria. Tuttavia tale meccanismo non viene attivato finché la concentrazione di O_2 non raggiunge un livello molto basso, e pertanto l'ossigeno ricopre un ruolo piuttosto scarso nel controllo della respirazione. I chemiorecettori dei glomi carotidei sono stimolati anche da variazioni delle concentrazioni ematiche di anidride carbonica e ioni idrogeno provocando una risposta che comunque è minore rispetto la sollecitazione indotta sulle aree chemiosensibili del centro respiratorio.

La normale respirazione può venire alterata anche da turbamenti emotivi o da stati dolorosi che provocano un aumento della frequenza.

---

[72] Di norma l'aria atmosferica contiene lo 0,04% di CO_2 Qualora quest'ultima raggiunga una concentrazione pari al 4%, la frequenza respiratoria raddoppia

Capitolo 4. Principali aspetti normativi

La principale norma di riferimento della sperimentazione, è l'ormai ben noto Decreto Legislativo del 19 settembre 1994, numero 626, che prescrive le regole per la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori durante il lavoro, in tutti i settori di attività, privati o pubblici[73]. Si tratta perciò della prima norma italiana che tratta in modo organico tutti gli spetti della sicurezza ed igiene del lavoro, e dalla quale, a seguito delle sue modifiche, integrazioni o specificazioni, scaturiscono tutte le successive norme in materia di prevenzione dai rischi e dagli infortuni, dell'ordinamento giuridico nazionale. La seguente legge nasce anche per attuare le Direttive del Consiglio Europeo sulla sicurezza e salute dei lavoratori[74].

La "626" definisce alcune figure chiave nell'ambito della sicurezza, di seguito riportate:

- *il lavoratore*: è la persona che presta il proprio lavoro alle dipendenze di in datore di lavoro[75];
- *il datore di lavoro*: soggetto titolare del rapporto di lavoro con il lavoratore o, che comunque, secondo il tipo e l'organizzazione dell'impresa, ha la responsabilità dell'impresa stessa o dell'unità produttiva, in quanto titolare dei poteri decisionali e di spesa[75];
- *servizio di prevenzione e protezione*: insieme delle persone, sistemi e mezzi esterni o interni all'azienda finalizzati all'attività di prevenzione e protezione dai rischi professionali all'interno dell'azienda stessa o dell'unità produttiva[75];

---

[73] D.Lgs. 626/94 Art.1 – Campo di applicazione
[74] Le direttive sono: 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE
[75] D.Lgs. 626/94 Art.2 – Definizioni

* *il medico competente*: soggetto in possesso della specializzazione in medicina del lavoro o in medicina preventiva dei lavoratori, in clinica del lavoro, etc.[75], incaricato di eseguire le visite mediche periodiche ai dipendenti;
* *il rappresentante dei lavoratori per la sicurezza*: ovvero la persona eletta o designata per rappresentare i lavoratori per quanto concerne gli aspetti della salute e della sicurezza durante il lavoro[75];
* *prevenzione*: cioè il complesso di tutte le disposizioni adottate o previste in tutte le fasi dell'attività lavorativa per evitare o diminuire i rischi professionali nel rispetto della salute della popolazione e dell'integrità dell'ambiente esterno[75];
* *agente*: agente chimico, fisico o biologico, presente durante il lavoro e potenzialmente dannoso per la salute[75];
* *unità produttiva*: stabilimento o struttura finalizzata alla produzione di beni o servizi e dotata di autonomia finanziaria e tecnico funzionale[75].

Il decreto stabilisce le misure generali di tutela che devono essere obbligatoriamente messe in atto da parte del datore di lavoro (soggetto che risponde alle caratteristiche di cui all'Art.2), senza comportare, in ogni caso, oneri finanziari per i lavoratori. Tali aspetti sono sintetizzati nei seguenti punti[76]:

a) valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza;
b) eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non è possibile, la loro riduzione al minimo;
c) riduzione dei rischi alla fonte;

[76] D.Lgs. 626/94 Art.3 – Misure generali di tutela

d) programmazione della prevenzione mirando ad un complesso che integra in modo coerente nella prevenzione, le condizioni tecniche produttive ed organizzative dell'azienda, nonché l'influenza dei fattori dell'ambiente di lavoro;

e) sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è, o è meno pericoloso;

f) rispetto dei principi ergonomici nella concezione dei posti di lavoro, nella scelta delle attrezzature e nella definizione dei metodi di lavoro e produzione, anche per attenuare il lavoro monotono e quello ripetitivo;

g) priorità delle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale;

h) limitazione al minimo del numero dei lavoratori che sono, o che possono essere, esposti al rischio;

i) utilizzo limitato degli agenti chimici, fisici e biologici, sui luoghi di lavoro;

j) controllo sanitario dei lavoratori in funzione dei rischi specifici;

k) allontanamento del lavoratore dall'esposizione a rischio, per motivi sanitari inerenti la sua persona;

l) misure igieniche;

m) misure di protezione collettiva ed individuale;

n) misure di emergenza da attuare in caso di prono soccorso, di lotta antincendio, di evacuazione dei lavoratori e di pericolo grave ed immediato;

o) uso di segnali di avvertimento e di sicurezza;

p) regolare manutenzione di ambienti, attrezzature, macchine ed impianti, con particolare riguardo ai dispositivi di sicurezza in conformità alla indicazione dei fabbricanti;

q) informazione, formazione, consultazione e partecipazione dei lavoratori e dei loro rappresentanti, sulle questioni riguardanti la sicurezza e la salute sul luogo di lavoro;

r) istruzioni adeguate ai lavoratori.

La norma obbliga pertanto il datore di lavoro a valutare i rischi per la sicurezza e per la salute dei lavoratori, compresi quelli riguardanti i gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari. In questa analisi deve tenere conto delle attrezzature di lavoro e delle sostanze o dei preparati chimici impiegati, nonché della sistemazione dei luoghi di lavoro[77].

Questa indagine è realizzata in forma di documento cartaceo, e deve contenere una relazione sulla valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute durante l'attività lavorativa e i criteri di "stima adottati", l'individuazione delle misure di prevenzione e protezione e dei dispositivi di protezione individuale, il programma delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza. Il documento è conservato presso l'azienda e aggiornato al variare della consistenza e del numero delle macchine impiegate e per ogni cambiamento relativo ai processi di lavoro svolti (ad esempio la valutazione deve essere aggiornata, ogni qualvolta venga acquisita una nuova attrezzatura) ed anche all'evoluzione tecnica della prevenzione e protezione.

Inoltre, il datore di lavoro designa le seguenti figure:

- il *responsabile* del *servizio* di *prevenzione* e *protezione* (*RSPP*);
- gli *addetti* al servizio di *prevenzione* e *protezione*;
- *medico competente*.

Deve inoltre nominare anche i lavoratori addetti alle misure di prevenzione incendi e lotta antincendio, alle evacuazione, al pronto soccorso e alla gestione dell'emergenza.

---

[77] Questa procedura valutativa, prende anche il nome di "*Valutazione dei Rischi*", e viene redatta sotto forma di un apposito documento cartaceo a disposizione dell'organo di vigilanza, come *l'Ufficio per la Prevenzione degli Incidenti e Sicurezza dei Luoghi di Lavoro* (PISLL) afferenti alle *ASL* (Azienda Sanitaria Locale), l'Ispetorato del Lavoro etc. D.Lgs. 626/94 Art.4 – Obblighi del datore di lavoro, del dirigente preposto

Per quanto concerne il primo punto, il datore di lavoro organizza all'interno dell'azienda stessa oppure affidandosi a persone o servizi esterni, il *servizio di prevenzione e protezione* che fa capo all'*RSPP* (*Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione*).

Il compito di responsabile potrà essere svolto dal datore di lavoro stesso, da dipendenti designati oppure da persone esterne all'azienda. In questi due casi è necessaria la comprovata capacità e disposizione dei mezzi, e nel caso dei dipendenti, anche il numero sufficiente di persone e di tempo adeguato per lo svolgimento dei compiti loro assegnati. Qualora il datore di lavoro ricorra a persone o servizi esterni, egli non è per questo liberato dalla propria responsabilità in materia.

Affinché il ruolo di responsabile per la sicurezza venga ricoperto dal datore di lavoro, è necessaria che la tipologia ed il numero di dipendenti dell'azienda, rientri nelle categorie sotto indicate[78].

- aziende artigiane e industriali fino a 30 addetti;
- aziende agricole e zootecniche fino a 10 addetti;
- aziende della pesca fino a 20 addetti;
- altre aziende fino a 200 addetti.

Inoltre deve anche fornire una dichiarazione attestante la capacità per lo svolgimento dei compiti di prevenzione e protezione dei rischi.

I compiti del servizio di prevenzione e protezione[79], riguardano invece l'individuazione dei fattori di rischio, la valutazione dei rischi e l'individuazione delle misure per la sicurezza e la salubrità degli ambienti di lavoro. Il tutto deve essere svolto nel

[78] D.Lgs. 626/94 Allegato I – Casi in cui è consentito lo svolgimento diretto da parte del datore di lavoro dei compiti di prevenzione e protezione dai rischi (art. 10)
[79] D.Lgs. 626/94 Art.9 – Compiti del servizio di prevenzione e protezione

rispetto della normativa vigente e sulla base della specifica conoscenza dell'organizzazione aziendale.

Deve altresì elaborare le misure preventive e protettive e i sistemi di controllo di tali misure, le procedure di sicurezza per le varie attività aziendali e i programmi di informazione e formazione dei lavoratori, oltre che a partecipare alle consultazioni in materia di tutela della salute e della sicurezza. E' sempre compito del servizio di prevenzione, quello di fornire ai lavoratori l'informazioni, concernente i rischi per la sicurezza e la salute connessi all'attività dell'impresa, le misure e le attività di protezione e prevenzione adottate, i rischi specifici cui sono esposti, in relazione all'attività svolte. Deve comunicare inoltre, quanto concernono le normative di sicurezza e le disposizioni aziendali, in materia e i pericoli connessi all'uso delle sostanze e dei preparati pericolosi sulla base delle schede dei dati di sicurezza previste dalla normativa vigente e dalle norme di buona tecnica. Inoltre, informa i lavoratori delle procedure che riguardano il pronto soccorso, la lotta antincendio, l'evacuazione dei lavoratori, e i nominativi dei degli incaricati di applicare queste misure.

Nei rapporti tra *servizio di prevenzione e protezione* e datore di lavoro, è previsto che quest'ultimo fornisca al primo le informazioni riguardo la natura dei rischi (fisici, chimici etc.) presenti in azienda, l'organizzazione del lavoro, la programmazione e l'attuazione delle misure preventive e protettive, la descrizione degli impianti e dei processi produttivi, i dati del registro degli infortuni e delle malattie professionali e le eventuali prescrizioni degli organi di vigilanza.

Nel secondo punto sono invece menzionati gli addetti al servizio di prevenzione e protezione, o meglio tutti coloro che coadiuvano *l'RSPP*, nello svolgimento delle sue funzioni. Essi, insieme ai *rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza*, sono tenuti al

segreto in ordine ai processi lavorativi di cui vengono a conoscenza, durante l'esercizio delle funzioni previste da questo decreto.

Il medico competente è invece la figura preposta alla sorveglianza sanitaria[80] che si attua attraverso le seguenti misure:

a) accertamenti preventivi intesi a constatare l'assenza di controindicazioni al lavoro cui i lavoratori sono destinati, ai fini della valutazione della loro idoneità alla mansione specifica;

b) accertamenti periodici per controllare lo stato di salute dei lavoratori ed esprimere il giudizio di idoneità alla mansione specifica.

Gli accertamenti periodici comprendono esami clinici e biologici e indagini diagnostiche, mirati al rischio o ritenuti necessari dal medico competente.

Inoltre collabora con il datore di lavoro e con il *servizio di prevenzione e protezione* sulla base della specifica conoscenza dell'organizzazione dell'azienda e delle situazioni di rischio, ed alla predisposizione dell'attuazione delle misure per la tutela della salute e dell'integrità psico-fisica dei lavoratori.

Comunica in occasione delle riunioni periodiche per la sicurezza (vedi dopo), ai rappresentanti per la sicurezza, i risultati anonimi collettivi degli accertamenti clinici e strumentali e fornisce indicazioni sul significato di detti risultati. Tali informazioni sono poi conservate in forma anonima e nel rispetto del segreto professionale a cura del datore di lavoro.

La figura professionale del medico del lavoro deve essere in possesso di alcuni requisiti, quali la specializzazione in medicina del lavoro o in medicina preventiva dei lavoratori e psicotecnica o in tossicologia industriale o in igiene industriale o in fisiologia,

---

[80] D.Lgs. 626/94 Art. 16 (Capo IV – Sorveglianza Sanitaria) – Contenuto della sorveglianza sanitaria

ed igiene del lavoro o in clinica del lavoro ed altre specializzazioni individuate, ove necessario, con decreto del Ministro della sanità di concerto con il Ministro dell'Università e della ricerca scientifica e tecnologica. Oppure può essere un docente o libero docente della cattedra di medicina del lavoro o di medicina preventiva dei lavoratori e psicotecnica, oppure in tossicologia industriale o in igiene industriale o in fisiologia ed igiene del lavoro.

La sorveglianza sanitaria si applica[81] ogni qualvolta l'eliminazione di un rischio non'è totale, e i residui di quest'ultimo possono determinare l'insorgenza di patologie di natura occupazionale, la cui origine ed eventuale progressione si monitorano attraverso la sorveglianza medica periodica.

Nell'affidare i compiti ai lavoratori (sia lavorativi che per la sicurezza), il datore di lavoro deve inoltre tenere conto delle capacità e delle condizioni degli stessi in rapporto alla loro salute e alla sicurezza.

Come accennato precedentemente, deve anche fornire ai lavoratori i gli idonei DPI (*Dispositivi di Protezione Individuale*), scelti sulla base delle indicazioni del Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione.

Per quanto riguarda le aree che presentano un rischio specifico, oltre ad essere circoscritte, devono essere frequentate solo dai lavoratori che hanno ricevuto adeguate istruzioni riguardo il rischio stesso. Il datore di lavoro deve sempre informare e formare il personale sul corretto uso delle attrezzature e del comportamento da seguire durante i processi aziendali.

Anche i lavoratori devono corrispondere a degli obblighi, tra i quali annoveriamo quello di avere cura della propria e dell'altrui sicurezza e salute, il rispetto della disposizione e della formazione e informazione fornite dal datore di lavoro, dell'uso corretto delle macchine e attrezzature e dell'adozione dei DPI.

---

[81] D.Lgs. 626/94 Art. 16, Comma 1 (Capo IV – Sorveglianza sanitaria) – Contenuto della sorveglianza sanitaria

Eventuali anomalie dei macchinari o dei processi che possono compromettere la sicurezza e la salute, previa interruzione del lavoro, devono essere comunicati al datore di lavoro.

L'ultimo aspetto innovativo del Decreto 626. è la "collegialità della sicurezza", nel senso che sono coinvolte tutte le figure viste precedentemente ed anche i lavoratori, non rappresentano un'entità passiva ma collaborano attivamente nella scelta delle misure di prevenzione e protezione da adottare. Essi intervengono sia direttamente nel corso delle riunioni periodiche, sia attraverso il loro rappresentante per la sicurezza (*RLS* o *Rappresentate dei Lavoratori per la Sicurezza*). Questo coinvolgimento continuo, negli aspetti della sicurezza e igiene del lavoro di tutti i soggetti presenti in una azienda, prende il nome di "*quadrilatero della sicurezza*" (Figura 22).

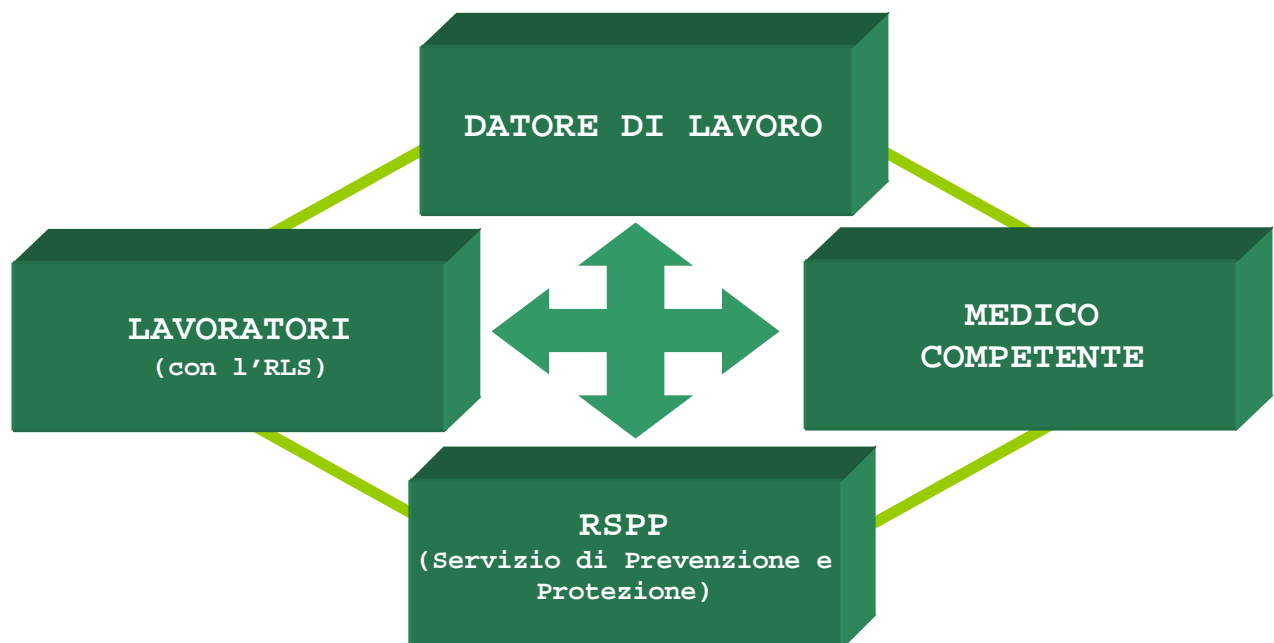



Figura 22 Il quadrilatero della Sicurezza

Nell'Art.11 del Decreto[82] sono riportate le modalità con le quali eseguire le riunioni periodiche, che cambiano a seconda della tipologia di azienda. Nelle aziende che

[82] D.Lgs. 626/94 Art.11 – Riunione periodica di prevenzione e protezione dei rischi

occupano più di 15 dipendenti, il datore di lavoro, direttamente o tramite il servizio di prevenzione e protezione dai rischi, indice almeno una volta all'anno una riunione cui partecipano, il datore di lavoro o un suo rappresentante, il responsabile del servizio di prevenzione e protezione dai rischi, il medico competente, ove previsto ed il rappresentante per la sicurezza.

Nel corso della riunione il datore di lavoro sottopone all'esame dei partecipanti, il documento di cui valutazione dei rischi, l'idoneità dei mezzi di protezione individuale (*DPI*), i programmi di informazione e formazione dei lavoratori ai fini della sicurezza e della protezione della loro salute.

La riunione ha altresì luogo in occasione di eventuali significative variazioni delle condizioni di esposizione al rischio, compresa la programmazione e l'introduzione di nuove tecnologie che hanno riflessi sulla sicurezza e salute di lavoratori. In questo caso, nelle aziende fino a 15 dipendenti, il rappresentante dei lavoratori per la sicurezza può chiedere la convocazione di una apposita riunione. Il datore di lavoro, anche tramite il servizio di prevenzione e protezione dai rischi, provvede alla redazione del verbale della riunione che è tenuto a disposizione dei partecipanti, per la sua consultazione.

Un ultimo obbligo del datore di lavoro, è quello di detenere un registro nel quale annotare cronologicamente gli infortuni[83] sul lavoro che comportano un'assenza dal lavoro di almeno un giorno. Nel registro sono annotati il nome, il cognome, la qualifica professionale dell'infortunato, le cause e le circostanze dell'infortunio, nonché la data di abbandono e di ripresa del lavoro. Il registro è redatto conformemente al modello approvato con decreto del Ministro del lavoro e della previdenza sociale, sentita la commissione consultiva permanente, di cui all'articolo 393 del decreto del Presidente della

[83] Oppure più semplicemente "*Registro degli Infortuni*", secondo il D.Lgs. 626/94 Art.4, Comma 2, di cui alla Lettera "O" – Obblighi del datore di lavoro, del dirigente e del preposto

Repubblica 27 aprile 1955, n. 547, e successive modifiche, ed è conservato sul luogo di lavoro, ed è a disposizione dell'organo di vigilanza.

Le altre norme prese a riferimento nel corso della sperimentazione, sia di carattere nazionale (soprattutto decreti legge, attuativi di direttive europee) che europeo, nonché norme tecniche e valori limite proposti da enti ed istituti operanti nel settore del igiene e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Tra queste si riportano:

- D.Lgs. 626/94, (per ciò che riguarda il rischio chimico);
- D.Lgs. 277/91;
- D.Lgs. 459/96;
- D.Lgs. 66/2000;
- D.Lgs. 25/2002;
- Norme tecniche UNI EN 689:1997 e UNI EN 482:1998;
- Valori limite di soglia (proposti dagli enti di ricerca e studio quali *l'ACGIH*, il *NIOSH*, *l'OSHA* etc.);
- Direttiva 2002/88/CE

4.1 La "626" e gli inquinanti aerodispersi

Come premesso nell'introduzione di questa tesi, il problema della valutazione del rischio di esposizione del lavoratore che utilizza attrezzature portatili, ai gas di scarico emessi da queste, risulta a livello nazionale assai poco considerato.

La bibliografia a riguardo e le tecnologie e le metodologie finora adottate, considerano solamente l'ambiente industriale e non vagliano invece la realtà agricola, ritenendo probabilmente quest'ultima, a basso rischio per quel che concerne "l'esposizione

agli aerodispersi". Tuttavia i primi studi sulla valutazione degli inquinanti emessi dalle attrezzature portatili[84], nonché lo sviluppo tecnologico e delle metodologie in grado di rilevarli, delineano una realtà da non trascurare.

Inoltre il Decreto 626, all'Art.3 (Misure generali di tutela), comma 1 di cui alla lettera "b", stabilisce che "*l'eliminazione dei rischi deve essere effettuata in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico, omissis..*", affermando perciò che se lo sviluppo tecnologico mette a disposizione dell'uomo la possibilità di scoprire e valutare nuove fonti di rischio, queste devono essere prese in considerazione nell'ambito della valutazione del rischio aziendale. In quest'ambito, rientrano perciò a pieno, gli studi condotti sull'emissioni delle macchine portatili, della presente tesi.

Sempre a riguardo dell'esposizione ad agenti chimici pericolosi, all'Art.3, Comma 1, Lettera "i" (Misure generali di tutela) stabilisce che fanno parte delle misure di misure generali per la protezione della salute e per la sicurezza dei lavoratori, l'utilizzo limitato degli agenti chimi, fisici e biologici, sui luoghi di lavoro.

E' quindi uno obiettivo della sperimentazione, quello di valutare la concentrazione di inquinanti aerodispersi presenti nell'atmosfera di lavoro dell'operatore allo scopo di proporre delle misure atte a contenerle.

Tuttavia per quanto riguarda gli agenti chimici pericolosi, quali il monossido di carbonio, ossidi di azoto, anidride carbonica etc., la Legge 626 non entra nello specifico e non fornisce alcun criterio di valutazione, tanto meno delle concentrazioni limite che debbano essere rispettate nei luoghi di lavoro. Questa carenza non'è solo della "626", ma anche delle altre norme nazionali ed Europee, e per questo, al fine di avere dei valori

[84] Vedi Cavalli R. in note bibliografiche

limite di riferimento, ci si atterrà a quelli forniti da enti e istituti di ricerca (*ACGIH*, *OSHA*, etc[85].), specializzati in sicurezza del lavoro, nonché a norme tecniche (UNI, EN, ISO).

Invece il D.Lgs. 626/94, al Titolo VII (Protezione da agenti cancerogeni), fornisce delle chiare direttive per quanto riguarda glia agenti cancerogeni, che nel nostro ambito sono rappresentati dal *benzene* (C_6H_6) e dalla *formaldeide*.

L'Art.61 definisce una sostanza cancerogena[86], qualsiasi composto al quale, nell'allegato 1 della direttiva 67/548/CEE, è attribuita la menzione R 45[87]: "Può provocare il cancro" o la menzione R 49: "Può provocare il cancro per inalazione", oppure una sostanza, un preparato o un processo di cui all'allegato VIII del presente decreto, nonché una sostanza od un preparato prodotti durante un processo, sempre previsto nell'allegato VIII.

Durante l'impiego delle attrezzature portatili, di fatto non viene manipolato un agente cancerogeno (anche se la benzina potrebbe essere definita tale), ma è generato a seguito di un processo, per l'appunto la combustione del motore. Tale sostanza, il benzene, infatti catalogata dalla citata direttiva come cancerogena.

Se infatti analizziamo l'elenco dei processi a rischio riportati nell'elenco dell'Allegato VIII, al Punto 2 troviamo infatti, la scrittura: "*lavori che espongono agli idrocarburi policiclici aromatici presenti nella fuliggine, nel catrame, nella pece, nel fumo o nelle polveri di carbone*".

Nel nostro frangente, il motoseghista è appunto esposto al fumo, quello di scarico delle macchine, e contente idrocarburi aromatici policiclici. Questa forzatura, trova tuttavia

---

[85] Confronta i Paragrafi 4.7, 4.7.1 e 4.7.2
[86] D.Lgs. 626/94 Art.61, (definizioni) Comma 1 Lettera "a","b" e "c"
[87] "R" indica che si tratta di una *frase di rischio* ed il numero corrisponde ad un frase specifica. Cosi ad esempio, R 45 corrisponde alla frase di rischio "*Può provocare il cancro*", R 11 "facilmente infiammabile" etc. Stessa cosa dicasi per i *consigli di prudenza*, codificati con la lettera "S"

una chiarificazione con la promulgazione del D.Lgs. 25/2002 che modifica la 626 (Paragrafo 4.5).

Gli obblighi del datore di lavoro[88] saranno pertanto quelli di evitare o ridurre l'utilizzazione di un agente cancerogeno sul luogo di lavoro in particolare sostituendolo, sempre che ciò è tecnicamente possibile, con una sostanza o un preparato o un procedimento che nelle condizioni in cui viene utilizzato non è o è meno nocivo alla salute ed eventualmente alla sicurezza dei lavoratori. Se non è tecnicamente possibile sostituire l'agente cancerogeno, il datore di lavoro provvede affinché la produzione o l'utilizzazione dell'agente cancerogeno avvenga in un sistema chiuso, sempre che sia tecnicamente possibile. Se infine il ricorso ad un sistema chiuso non è tecnicamente possibile il datore di lavoro provvede affinché il livello di esposizione dei lavoratori sia ridotto al più basso valore tecnicamente possibile.

Nel caso delle attività condotte con le attrezzature portatili, il *benzene* dalla benzina non può essere eliminato, visto che l'unica tipologia di benzina oggi presente è quella verde e visto anche che le benzine speciali a basso tenore di idrocarburi cancerogeni, a differenza di quanto avviene nel Nord Europa e Nord America, non trovano in Italia una facile commercializzazione (confronta con i Paragrafi 6.1.7 e 6.1.7.1). Alla luce di ciò, visto che anche il sistema a circuito chiuso trova notevoli difficoltà di applicazione, la via percorribile è quella di formare i lavoratori al fine di evitare l'esposizione ai cancerogeni.

Il documento di valutazione dei rischi dovrà essere integrato da alcuni dati, quali:

a) l'indicazione dei motivi per i quali sono impiegati agenti cancerogeni;

b) i quantitativi di sostanze, preparati cancerogeni, prodotti o utilizzati, oppure presenti come impurità o sottoprodotti;

c) il numero dei lavoratori esposti o potenzialmente esposti ad agenti cancerogeni;

---

[88] D.Lgs. 626/94 Art. 62 (Sostituzione e riduzione), Titolo VII, Capo II – Obblighi del datore di lavoro

d) l'esposizione dei suddetti lavoratori, ove nota e il grado della stessa;

e) le misure preventive e protettive applicate ed il tipo dei dispositivi di protezione individuale utilizzati;

f) le indagini svolte per l possibile sostituzione degli agenti cancerogeni e le sostanze e i preparati eventualmente utilizzati come sostituti.

La valutazione deve essere effettuata nuovamente trascorsi tre anni, e prima, in occasione di modifiche ad un processo produttivo o dell’acquisto di nuove attrezzature.

Questa sperimentazione si pone anche lo scopo di fornire un “*modus operanti*” per lo svolgimento di procedure atte a valutare il grado di esposizione agli agenti cancerogeni presenti nei gas di scarico delle attrezzature portatili, come visto nell’Art. 63,Capo II, Comma 4, di cui alla lettera “d”.

4.1.1 Misure tecniche, organizzative, procedurali

Tra le principali misure tecniche organizzative e procedurali che il datore di lavoro deve osservare[89], vi è quella di assicurare, applicando i metodi e le procedure di lavoro adeguati, l’impiego di quantitativi di agenti cancerogeni non superiori alle necessità delle lavorazioni e che gli agenti cancerogeni in attesa di impiego, in forma fisica tale da causare rischio di introduzione, non sono accumulati sul luogo di lavoro in quantitativi superiori alle necessità predette.

Inoltre deve essere limitato al minimo possibile il numero dei lavoratori esposti o che possono essere esposti ad agenti cancerogeni anche isolando le lavorazioni in aree predeterminate provviste di adeguati segnali di avvertimento e di sicurezza, compresi i segnali "vietato fumare", ed accessibili soltanto ai lavoratori che debbono recarvisi per

[89] D.Lgs. 626/94 Art. 64 (Misure tecniche, organizzative, procedurali), Titolo VII, Capo II – Obblighi del datore di lavoro

motivi connessi con la loro mansione o con la loro funzione. In dette aree deve essere fatto divieto di fumare.

Deve altresì progettare, programmare e sorvegliare le lavorazioni in modo che non vi sia emissione di agenti cancerogeni nell'aria. Se ciò non è tecnicamente possibile, l'eliminazione degli agenti cancerogeni deve avvenire il più vicino possibile al punto di emissione mediante aspirazione localizzata. L'ambiente di lavoro deve comunque essere dotato di un adeguato sistema di ventilazione generale.

Il datore di lavoro, provvede infine alla misurazione di agenti cancerogeni per verificare l'efficacia delle misure di cui alla lettera "c" e per individuare precocemente le esposizioni anomale causate da un evento non prevedibile o da un incidente, con metodi di campionatura e di misurazione conformi alle indicazioni dell'allegato VIII del decreto legislativo 15 agosto 1991, n. 277.

4.1.2 Misure igieniche

Il datore di lavoro deve inoltre garantire il rispetto delle seguenti misure igieniche[90]:

a) assicura che i lavoratori dispongano di servizi igienici appropriati ed adeguati;

b) dispone che i lavoratori abbiano in dotazione idonei indumenti protettivi da riporre in posti separati dagli abiti civili;

c) provvede affinché i dispositivi di protezione individuale siano custoditi in luoghi determinati, controllati e puliti dopo ogni utilizzazione, provvedendo altresì a far riparare o sostituire quelli difettosi, prima di ogni nuova utilizzazione.

Deve inoltre essere vietato assumere cibi e bevande o fumare nelle zone di lavoro.

[90] D.Lgs. 626/94 Art. 65 (Misure igieniche), Titolo VII, Capo II – Obblighi del datore di lavoro

4.1.3 Informazione e formazione

Il datore di lavoro fornisce ai lavoratori, sulla base delle conoscenze disponibili, informazioni ed istruzioni[91], in particolare per quanto riguarda gli agenti cancerogeni presenti nei cicli lavorativi, la loro dislocazione, i rischi per la salute connessi al loro impiego, compresi i rischi supplementari dovuti al fumare. Fornisce anche le precauzioni da prendere per evitare l'esposizione, le misure igieniche da osservare e la necessità di indossare e impiegare indumenti di lavoro e protettivi e dispositivi individuali di protezione ed il loro corretto impiego.

Il datore di lavoro assicura ai lavoratori anche una formazione adeguata. L'informazione e la formazione sono fornite prima che i lavoratori siano adibiti alle attività in questione e vengono ripetute, con frequenza almeno quinquennale, e comunque ogni qualvolta si verificano nelle lavorazioni cambiamenti che influiscono sulla natura e sul grado dei rischi. Infine lo stesso, provvede affinché gli impianti, i contenitori, gli imballaggi contenenti agenti cancerogeni siano etichettati in maniera chiaramente leggibile e comprensibile.

4.1.4 Accertamenti sanitari e norme preventive e protettive specifiche

Nel caso in cui la valutazione ha evidenziato un rischio per la salute per la presenza di agenti cancerogeni, “scatta” la sorveglianza sanitaria[92] degli esposti[93]. Il datore di lavoro, su conforme parere del medico competente, adotta misure preventive e protettive per singoli lavoratori sulla base delle risultanze degli esami clinici e biologici effettuati e possono comprendere anche l'allontanamento del lavoratore secondo le procedure dell'art. 8 del decreto legislativo 15 agosto 1991, n. 277. Nel caso in cui gli accertamenti sanitari abbiano evidenziato, nei lavoratori esposti in modo analogo ad un stesso agente,

---

[91] D.Lgs. 626/94 Art. 66 (Informazione e formazione), Titolo VII, Capo II – Obblighi del datore di lavoro
[92] D.Lgs. 626/94 Art. 69 (Accertamenti sanitari e norme preventive e protettive specifiche), Titolo VII, Capo III – Obblighi del datore di lavoro
[93] Si definiscono “*esposti*”, tutti i lavoratori soggetti ad un rischio specifico

l'esistenza di una anomalia imputabile a tale esposizione, il medico competente ne informa il datore di lavoro.

A seguito dell'informazione di cui al comma 4 il datore di lavoro effettua una nuova valutazione del rischio, con una misurazione della concentrazione dall'agente in aria, per verificare l'efficacia delle misure adottate.

Il medico competente fornisce ai lavoratori adeguate informazioni sulla sorveglianza sanitaria cui sono sottoposti, con particolare riguardo all'opportunità di sottoporsi ad accertamenti sanitari anche dopo la cessazione dell'attività lavorativa.

I lavoratori esposti ad un agente cancerogeno sono iscritti in un apposito registro[94] nel quale è riportata, per ciascuno di essi, l'attività svolta, l'agente cancerogeno utilizzato ed, il valore dell'esposizione a tale agente. Detto registro è istituito ed aggiornato dal datore di lavoro che ne cura a tenuta per il tramite del medico competente. Il responsabile del servizio di prevenzione e protezione dai rischi e il rappresentante per la sicurezza hanno accesso a detto registro.

Una copia del registro è consegnata all'Istituto Superiore per la Prevenzione e sicurezza sul lavoro ed all'organo di vigilanza competente per territorio e comunicaloro ogni 3 anni, e comunque ogni qualvolta i medesimi ne facciano richiesta, le variazioni intervenute.

Le annotazioni individuali contenute nel registro di cui al comma 1 e le cartelle sanitarie e di rischio di cui al comma 2 sono conservate dal datore di lavoro almeno fino a risoluzione del rapporto di lavoro e dall'Istituto Superiore per la Prevenzione e sicurezza sul lavoro fino a quaranta anni dalla cessazione di ogni attività che espone ad agenti cancerogeni.

[94] D.Lgs. 626/94 Art. 70 (Registro di esposizione e cartelle sanitarie), Titolo VII, Capo III – Obblighi del datore di lavoro

I medici, le strutture sanitarie pubbliche e private, nonché gli istituti previdenziali assicurativi pubblici o privati, che refertano casi di neoplasie da loro ritenute causate da esposizione lavorativa ad agenti cancerogeni, trasmettono all'Istituto Superiore per la Prevenzione e Sicurezza sul Lavoro copia della relativa documentazione clinica ovvero anatomopatologica e quella inerente l'anamnesi lavorativa.

4.2 Il D.Lgs. 277/91

Antecedente di quasi 5 anni alla norma "626", il Decreto Legislativo n.277 del 15 agosto 1991 è stata la prima legge italiana in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dall'esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro.

Anche questa legge, attua le direttive europee in fatto di sicurezza e igiene del lavoro, quali la 80/1107/CEE, la 82/605/CEE, la 83/477/CEE, la 86/188/CEE e 88/642/CEE e si applica alle attività lavorative ad eccezione dei lavoratori della navigazione marittima ed aerea[95].

Le principali misure di tutela da adottare[96], per evitare una esposizione pericolosa agli agenti fisici, biologici e chimici, riguardano:

a) la valutazione da parte del datore di lavoro dei rischi per la salute e la sicurezza;

b) utilizzazione limitata dell'agente sul luogo di lavoro;

c) limitazione al minimo del numero dei lavoratori che sono o possono essere esposti;

d) controllo dell'esposizione dei lavoratori mediante la misurazione dell'agente. La campionatura, la misurazione dell'agente e la valutazione dei risultati si effettuano con le modalità e i metodi previsti per ciascun agente. Tali modalità e metodi sono

[95] D.Lgs. 277/91 Art.1 – Attività soggette
[96] D.Lgs. 277/91 Art.4 – Misure di tutela

aggiornati periodicamente con decreto, in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso scientifico e tecnologico;

e) misure da attuare, quando sia superato un valore limite, per identificare le cause del superamento ed porvi rimedio;

f) misure tecniche di prevenzione;

g) misure di protezione collettiva;

h) uso di segnali di avvertimento e di sicurezza;

i) misure di protezione comportanti l'applicazione di procedimenti e metodi di lavoro appropriati;

j) misure di protezione individuale, da adottare soltanto quando non sia possibile evitare in altro modo un'esposizione pericolosa;

k) misure di emergenza da attuare in caso di esposizione anormale;

l) misure igieniche da applicare nei luoghi di lavoro (pulizia ambienti, divieto di bere,fumare e mangiare, etc.);

m) informazione e formazione completa e periodica dei lavoratori o dei loro rappresentanti, riguardo i rischi connessi con l'esposizione dei lavoratori all'agente e le misure tecniche di prevenzione e i metodi per la valutazione dei rischi, l'indicazione dei valori limite e, ove fissate, le misure da prendere o già prese per motivi di urgenza, in caso di loro superamento, per ovviarvi;

n) attuazione di un controllo sanitario dei lavoratori prima dell'esposizione e, in seguito, ad intervalli regolari nonché, qualora trattasi di esposizione ad agenti con effetti a lungo termine, prolungamento del controllo dopo la cessazione dell'attività comportante l'esposizione;

o) tenuta e aggiornamento di registri indicanti livelli di esposizione, di elenchi di lavoratori esposti e di cartelle sanitarie e di rischio;

p) accesso dei lavoratori ovvero dei loro rappresentanti ai risultati delle misure di esposizione ed ai risultati collettivi non nominativi degli esami indicativi dell'esposizione;

q) accesso di ogni lavoratore interessato ai risultati dei propri controlli sanitari, in particolare a quelle degli esami biologici indicativi dell'esposizione;

r) accesso dei lavoratori ovvero dei loro rappresentanti ad un'informazione adeguata, atta a migliorare le loro conoscenze dei pericoli cui sono esposti;

s) un sistema di notifica alle competenti autorità statali, ovvero locali, delle attività che comportano esposizione all'agente oggetto di disciplina, con l'indicazione dei dati da comunicare.

Per quanto concerne i diritti e i doveri del datore di lavoro e dei dipendenti, sono i medesimi del decreto legislativo 626, che appunto riprende molti dei regolamenti presenti in questa legislazione. Sancisce inoltre in modo chiaro quali devono essere gli obblighi del da Medico Competente[97], riportati nell'elenco seguente:

1. Lo stato di salute dei lavoratori esposti agli agenti, è accertato da un medico competente a cura e spese del datore di lavoro. Gli eventuali esami integrativi sono anch'essi a cura e spese del datore di lavoro;
2. Il medico competente esprime i giudizi di idoneità specifica al lavoro;
3. Per ogni lavoratore, il medico competente istituisce e aggiorna sotto la sua responsabilità, una cartella sanitaria e di rischio da custodire presso il datore di lavoro con salvaguardia del segreto professionale;

[97] D.Lgs. 277/91 Art. 7 – Obblighi del medico competente

4. Il medico competente fornisce informazioni ai lavoratori sul significato dei controlli sanitari cui sono sottoposti; fornisce altresì a richiesta, informazioni analoghe ai loro rappresentanti;
5. Il medico competente informa ogni lavoratore interessato dei risultati del controllo sanitario ed in particolare di quelli degli esami biologici indicativi dell'esposizione relativi alla sua persona;
6. Il medico competente visita gli ambienti di lavoro almeno due volte l'anno e partecipa alla programmazione del controllo dell'esposizione dei lavoratori, i cui risultati gli sono forniti con tempestività ai fini delle valutazioni e dei pareri di competenza.

4.2.1 Modalità di campionatura

L'aspetto più importante che ha sancito il decreto 277, è quello della definizione di una metodologia di campionamento e di misura degli agenti chimici e della valutazione dei risultati[98].

Esso definisce:

a) *Polvere*: sospensione dispersa nell'aria di materiali solidi e prodotta da un processo meccanico o da un turbine;
b) *Fumo*: sospensione dispersa nell'aria di materiali solidi e prodotta da processi termici e/o chimici;
c) *Nebbia*: sospensione dispersa nell'aria di materiali liquidi e prodotta da condensazione o dispersione.

Le polveri, alla stregua del fumo e della nebbia, sono materiali in sospensione. Per valutare i rischi per la salute che presentano questi materiali in sospensione, bisogna tenere conto non soltanto dell'effetto nocivo proprio a ciascun agente, della

[98] D.Lgs. 277/91 Art.58 – Altri agenti nocivi –, Comma 3, Lettera "C" – stabilendo la conformità delle modalità e dei metodi di misurazione, *omissis* – e Allegato VIII – Modalità di campionatura e di misura degli agenti chimici e di valutazione dei risultati

concentrazione e della durata di esposizione, ma anche della dimensione delle particelle. Infatti dell'aggregato di materiali in sospensione presenti nell'aria che respira un lavoratore, solo una parte viene inspirata. Questa parte inspirata è chiamata frazione inspirabile. Sono determinati a questo riguardo la velocità di aspirazione nasale e buccale, nonché le condizioni di circolazione dell'aria attorno alla testa. La frazione inspirabile può depositarsi, a seconda della dimensione delle particelle, in differenti zone dell'apparato respiratorio. Il deposito delle particelle ha fra l'altro un'influenza capitale sul punto in cui si esercita l'effetto nocivo e sulla natura di quest'ultimo.

La parte della frazione inspirabile che perviene negli alveoli è chiamata frazione respirabile che riveste un'importanza particolare sotto il profilo della medicina del lavoro.

Per quanto concerne la definizione di valore limite, è espresso dalla concentrazione media ponderata dell'esposizione su un periodo di otto ore di una sostanza sotto forma di gas, di vapore o di materiali in sospensione nell'aria sul luogo di lavoro.

Per *esposizione* si intende la presenza di un agente chimico nell'aria respirata dal lavoratore.

Essa è espressa dalla concentrazione per un periodo di riferimento. La presente sezione non riguarda i valori limite per gli indicatori biologici. Inoltre, può essere necessario, per talune sostanze, fissare un limite massimo di variazione rispetto al valore medio ponderato dell'esposizione, su un periodo di otto ore, o per periodi più brevi[99].

Ai fini delle misurazioni di controllo, si fa allora riferimento alla concentrazione ponderata durante il periodo più breve in questione.

Il valore limite per i gas e i vapori è espresso in ml/m^3 (o ppm), valore indipendente dalle variabili di stato, temperatura e pressione atmosferica, oppure in mg/m^3 per una temperatura di 20°C e una pressione di 101,3 kPa, che quindi dipende dalle variabili di

---

[99] Confronta il paragrafo 4.6

stato. Il valore limite per i materiali in sospensione è espresso in mg/m^3 per le condizioni di produzione sul posto di lavoro.

4.2.1.1 Esposizione ad uno o più agenti chimici

Per quanto concerne la valutazione dell'esposizione e le strategie di misurazione, se non si può escludere con certezza la presenza di uno o più agenti sotto forma di gas, vapore o materiali in sospensione nell'aria dell'ambiente di lavoro, deve essere effettuata una valutazione per determinare se i valori limite sono rispettati.

Nella valutazione occorre mettere insieme dati relativi a tutti gli elementi che possono avere un'incidenza sull'esposizione, ad esempio:

- gli agenti utilizzati o prodotti;
- le attività, le attrezzature tecniche ed i procedimenti di fabbricazione;
- la distribuzione temporale e spaziale delle concentrazioni degli agenti.

Un valore limite è rispettato quando dalla valutazione risulta che l'esposizione non oltrepassa il valore limite.

Se i dati raccolti non permettono di giungere a conclusioni affidabili circa il rispetto dei valori limite, essi devono essere completati da misurazioni effettuate sul posto di lavoro.

Quando dalla valutazione risulta che un valore limite non è rispettato, le cause del superamento devono essere individuate e devono essere attuate, non appena possibile, le misure atte a porre rimedio alla situazione e la valutazione deve essere ripetuta nel tempo.

Se invece dalla valutazione risulta che i valori limite sono rispettati, devono essere effettuate, se necessario, misurazioni, con una periodicità adeguata, per verificare che i valori limite continuino ad essere rispettati. Le misurazioni devono essere tanto più frequenti quanto più la concentrazione misurata si avvicina al valore limite (misurazione a lungo termine).

Quando dalla valutazione a lungo termine, dato il tipo di processo di lavoro, risulta che i valori limite sono rispettati e che non si verificano sostanziali modifiche delle condizione dei lavoratori, la frequenza delle misurazioni intese ad accettare il rispetto dei valori limite può essere ridotta.

In tal caso occorre tuttavia accertare periodicamente se la valutazione da cui si evince questa conclusione resta valida. Se il lavoratore è esposto simultaneamente o successivamente a vari agenti, è necessario tenerne conto nel valutare il rischio per la salute cui il lavoratore è esposto.

4.2.1.2 Requisiti degli addetti e dei metodi di misurazione

I responsabili delle misurazioni devono possedere e qualifiche prescritte e disporre delle attrezzature necessarie. Per quanto concerne invece i metodi di misurazione, devono consentire di ottenere risultati rappresentativi per quanto riguarda l'esposizione del lavoratore. Ai fini della valutazione dell'esposizione del lavoratore sul luogo di lavoro, è opportuno utilizzare per quanto possibile strumenti di prelievo fissati sul corpo del lavoratore.

Quando esiste un gruppo di lavoratori che eseguono mansioni identiche o simili in uno stesso luogo e che sono soggetti ad un'esposizione analoga, il campionamento può essere effettuato nel gruppo, in modo tale che sia rappresentativo del gruppo stesso.

Possono essere impiegati sistemi di misurazione stazionari se i risultati delle misurazioni consentono di valutare l'esposizione del lavoratore sul luogo di lavoro.

I campioni devono essere prelevati per quanto possibile al livello degli organi respiratori e nell'immediata vicinanza del lavoratore.

In caso di dubbio le misurazioni vanno effettuate nel punto in cui il rischio è maggiore.

Il metodo di misurazione impiegato deve essere in funzione dell'agente considerato, del valore limite previsto e dell'atmosfera predominante sul posto di lavoro.

Il risultato della misurazione deve indicare la concentrazione dell'agente in modo esatto e in proporzione al valore limite. Se il metodo di misurazione impiegato non si riferisce specificamente all'agente misurato, il valore deve essere integralmente attribuito all'agente in questione. Il limite di rivelazione, la sensibilità e la precisazione del metodo di misurazione devono essere in funzione del valore limite. Inoltre dovrebbe essere garantita l'esattezza del metodo di misurazione e che deve essere stato sperimentato in condizioni di applicazione pratiche.

Nella misura in cui il Comitato europeo per la standardizzazione (CEN) pubblichi requisiti generali cui devono rispondere i metodi e gli apparecchi utilizzati per le misurazioni sul posto di lavoro, nonché le norme di verifica corrispondenti, se ne deve tener conto per la scelta dei metodi di misurazione appropriati. Per questa ragione, nella presente sperimentazione, al fine di eseguire una misurazione efficace degli inquinanti aerodispersi, si è tenuto conto dei metodi di rilevamento proposti[100] dalle norme tecniche UNI EN 482:1998 e UNI EN 689:1997[101].

Ogni misurazione della concentrazione dei materiali in sospensione deve tener conto del loro modo di agire, ed è dunque opportuno, al momento del campionamento, prendere in considerazione sia la frazione *inspirabile*, sia quella *respirabile*. Ciò presuppone che si ottenga una separazione delle particelle in funzione del loro diametro aerodinamico, corrispondente al deposito che si forma con la respirazione.

La 277 afferma che allo stato attuale, "non sono ancora disponibili attrezzature appropriate per il campionamento sul posto di lavoro"[102] e che quindi occorre definire modalità pratiche che consentano una misurazione uniforme. Per tale ragione, nell'ambito

[100] Le norme tecniche (UNI, EN, ISO, etc.) non hanno valore di legge ma di proposta al fine di normalizzare (cioè di rendere omogenee), le procedure, le tecniche, i metodi etc., nei vari ambiti tecnologici, scientifici, nella vita pratica etc.
[101] Confronta i Paragrafi 4.5 e 4.6
[102] D.Lgs. 277/91 Art. 58, Comma 3, Lettera "C" di cui l'Allegato VIII – Modalità di campionamento e di misurazione degli agenti chimici e di valutazione dei risultati – , al Paragrafo B, Punto 4 a – Valutazione dell'esposizione e strategie di misurazione

di questa ricerca è stato sviluppato il “corpetto di aspirazione” da far indossare all’operatore, durante la misurazione (Paragrafo 6.2).

Viene considerata come inspirabile, la frazione di materiali in sospensione che può essere assorbita da un lavoratore mediante inspirazione buccale e/o nasale, mentre è definita frazione respirabile, l’aggregato che passa attraverso un sistema di separazione il cui effetto corrisponde alla funzione teorica di separazione di un separatore per sedimentazione che separa il 50% delle particelle con diametro aerodinamico di 5 micron m (convenzione di Johannesburg del 1979).

Nella prassi della tecnica di misurazione vengono, ad esempio, utilizzati, per il campionamento, campionatori con velocità di aspirazione di 1,25 m/s ± 10%, ovvero conformi alla normativa tecnica ISO/TR 7708-1983 (L). Inoltre, per gli apparecchi individuali di prelievo l'orifizio di aspirazione deve essere in direzione parallela al viso del lavoratore per tutta la durata del prelievo, mentre per i campionatori stazionari, l'impianto e la forma dell'orifizio devono consentire un prelievo rappresentativo per quanto riguarda l'esposizione dei lavoratori a diverse direzioni di provenienza dell'aria. L'impianto dell'orifizio di aspirazione dell'apparecchio non ha praticamente importanza se la velocità delle correnti d'aria circostanti è molto debole, ma se invece le correnti d'aria circostanti hanno una velocità pari o superiore a 1 m/s, si raccomanda di procedere ad una campionatura omnidirezionale su un piano orizzontale.

Possono essere utilizzati altri metodi purché conducano, per quanto concerne il rispetto dei valori limite, al medesimo risultato o ad un risultato ancor più rigoroso.

4.3 Il DPR 459/96

Il Decreto del Presidente della Repubblica del 24 luglio 1996, n. 459, recepisce le direttive europee 89/392/CE (Direttiva Macchine), 91/368, 93/44 e 93/68, concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine.

Il regolamento si applica alle macchine e ai componenti di sicurezza immessi separatamente sul mercato.

Il decreto definisce “macchina” un insieme di pezzi o di organi, di cui almeno uno mobile, collegati tra loro, anche mediante attuatori, con circuiti di comando e di potenza o altri sistemi di collegamento, connessi solidalmente per una applicazione ben determinata, segnatamente per la trasformazione, il trattamento, lo spostamento o il condizionamento di materiali[103]. Rientra sempre nella definizione, anche l’insieme di macchine e di apparecchi che, per raggiungere un risultato determinato, sono disposti e comandati in modo da avere un funzionamento solidale.

E’ definito invece un componente di sicurezza, tutto ciò che non è una attrezzatura intercambiabile, che il costruttore immette sul mercato allo scopo di assicurare, con la sua utilizzazione, una funzione di sicurezza e il cui guasto o cattivo funzionamento pregiudica la sicurezza o la salute delle persone esposte.

Tutte le attrezzature portatili viste in precedenza (motoseghe, decespugliatori, soffiatori, etc.), rientrano a pieno titolo, in questa definizione.

Lo scopo della norma è di consentire l’immissione sul mercato dell’Unione Europea, di macchine e componenti per la sicurezza, conformi alle disposizione del decreto e che se installati, mantenuti in efficienza ed utilizzati conformemente alla loro destinazione, non pregiudichino la sicurezza e la salute di chi li usa. E’ necessario perciò che il costruttore prima di immettere una macchina sul mercato, debba attestarne la conformità. Questo viene fatto mediante la dichiarazione “CE” di conformità e conseguente marcatura CE[104].

[103] DPR 459/96 Art. 1, Comma 2, lettera “a” – Campo di applicazione
[104] DPR 459/96, Art. 5

4.3.1 Requisiti fondamentali di sicurezza

Ai fini della certificazione, la macchina deve rispettare i requisiti fondamentali citati nella norma[105], alcuni dei quali sono di seguito riportati.

Per costruzione, le macchine devono essere atte a funzionare, ad essere regolate e a subire la manutenzione, senza che tali operazioni, se effettuate nelle condizioni previste dal fabbricante, espongano a rischi le persone. Le misure adottate devono avere lo scopo di eliminare il rischio di infortuni durante l'esistenza prevedibile della macchina, comprese le fasi di montaggio e smontaggio anche se tale rischio fosse la conseguenza di una situazione anormale prevedibile.

Per la scelta delle soluzioni più opportune il fabbricante deve applicare i seguenti principi, nell'ordine indicato:

- eliminare o ridurre i rischi nel miglior modo possibile (integrazione della sicurezza nella progettazione e nella costruzione della macchina);
- adottare le misure di protezione necessarie nei confronti dei rischi che non possono essere eliminati;
- informare gli utilizzatori dei rischi residui dovuti all'incompleta efficacia delle misure di protezione adottate, indicando se è richiesta, una formazione particolare, e segnalando se è necessario, l'utilizzo di un dispositivo di protezione individuale.

In sede di progettazione e di costruzione della macchina, nonché all'atto della redazione delle istruzioni per l'uso, il fabbricante deve considerare non soltanto l'uso normale della macchina, ma anche l'uso della macchina ragionevolmente prevedibile. La macchina deve essere progettata in modo da evitare che sia utilizzata anormalmente, se ciò può comportare un rischio. Negli altri casi le istruzioni per l'uso devono richiamare

[105] DPR 459/96, Allegato I

l'attenzione dell'utilizzatore sulle controindicazioni nell'uso della macchina che potrebbero, in base all'esperienza, presentarsi.

Nelle condizioni d'uso previste devono essere ridotti al minimo possibile il disagio, la fatica e le tensioni psichiche (stress) dell'operatore, tenuto conto dei principi dell'ergonomia.

All'atto della progettazione e della costruzione, il fabbricante deve tener conto degli obblighi imposti all'operatore dall'uso necessario o prevedibile delle attrezzature di protezione individuali (ad esempio: calzature, guanti, ecc.).

La macchina deve essere fornita completa di tutte le attrezzature e gli accessori speciali essenziali per poterla regolare, eseguirne la manutenzione e utilizzarla senza alcun rischio.

I materiali utilizzati per la costruzione della macchina o i prodotti impiegati ed originati durante la sua utilizzazione non devono presentare rischi per la sicurezza e la salute delle persone esposte. In particolare, se vengono usati dei fluidi, la macchina deve essere progettata e costruita in modo da poter essere utilizzata senza rischi dovuti al riempimento, all'utilizzazione, al recupero e all'evacuazione.

Gli altri aspetti che sono regolamentati, riguardano la progettazione della macchina ai fini del trasporto, in modo da assicurarne la trasportabilità in sicurezza, la presenza di dispositivi di comando chiaramente visibili, individuabili facilmente e situati fuori dalle zone pericolose, la necessità di disporre di un arresto d’emergenza che eviti situazioni di pericolo qualora l’arresto normale non sufficiente a garantire questo, la stabilità della macchina, al fine di evitare rovesciamenti e cadute della stessa e degli elementi e delle attrezzature su di essa installate durante il suo funzionamento, ed infine è regolamentata la progettazione ai fini della prevenzione dei rischi legati alla caduta e proiezione di oggetti e alla presenza di elementi mobili di trasmissione.

4.3.2 Il DPR 459 e gli inquinanti aerodispersi

Come il D.Lgs. 626/94, anche la presente norma, non pone dei limiti di emissività dei vari composti tossici che si potrebbero generare durante il funzionamento dei motori delle macchine. Tuttavia sancisce alcuni principi che devono essere rispettati dai costruttori europei di macchine, pena la non omologazione di quest'ultime[106].

Oltre all'implicito riferimento sulla emissione degli inquinanti pericolosi per l'uomo, presente nell'Art.3 (*Norme armonizzate e disposizioni di carattere equivalente*) e nell'Allegato 1 (*Requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine e dei componenti di sicurezza*), che sanciscono il principio di "eliminare o ridurre i rischi nel miglior modo possibile", si fa diretto riferimento dei gas di scarico, quando la norma tratta di protezione contro altri rischi, quali ad esempio i rischi dovuti alla emissioni di polveri, gas, etc[107].

Secondo questo regolamento, la macchina deve essere progettata, costruita e/o equipaggiata in modo tale da evitare i rischi dovuti a gas, liquidi, polveri, vapori ed altri residui prodotti. Se il rischio esistesse, la macchina dovrà essere equipaggiata in modo tale da poter captare e/o aspirare i suddetti prodotti. Se la macchina non è chiusa durante il normale funzionamento, i dispositivi di captazione e/o di aspirazione devono essere situati il più vicino possibile al luogo di emissione.

Ovviamente nel caso delle motoseghe e dei decespugliatori, vista la loro tipologia di impieghi, la captazione non'è la strada percorribile per ridurre il rischio.

Un altro riferimento alla problematica della produzione di inquinanti gassosi, si ha quando la norma detta le regole di progettazione del posto di lavoro (o posto di guida)

---

[106] Confronta il Paragrafo 4.2.1

[107] DPR 459/96, Allegato I previsto dall'Art.2, Comma 1 (Requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine e dei componenti della sicurezza), di cui al Paragrafo 1 (Requisiti essenziali di sicurezza e salute), di cui al Punto 1.5 (Misure di protezione contro altri rischi), e Punto 1.5.13 (Rischi dovuti alle emissioni di polveri, gas, etc.)

della macchina[108]. Secondo tale principio, oltre al fatto che il posto di guida deve essere progettato tenendo conto dei principi dell'ergonomia, afferma anche, che il posto di manovra stesso, deve essere progettato e costruito in modo da evitare rischi per la salute derivanti dai gas di scarico e/o dalla mancanza di ossigeno.

Nel caso delle attrezzature portatili il posto di guida o di manovra è rappresentato dallo spazio occupato dall'operatore dietro l'organo di taglio, mentre esso la sorregge dalle impugnature presenti sulla stessa[109]. Ormai da molto tempo, le varie ditte produttrici di motoseghe e decespugliatori, al fine di ridurre la contaminazione del lavoratore da parte dei gas di scarico, adottano ugelli di scarico orientati in antitesi rispetto il posto di manovra.

L'ultimo riferimento della norma agli inquinanti aerodispersi, lo troviamo durante la trattazione dei requisiti essenziali di sicurezza e di salute per le macchine destinate ad essere utilizzate nei lavori sotterranei. In questo caso, il decreto afferma che i gas di scarico di motori a combustione interna non devono essere evacuati verso l'alto[110].

Anche se le attrezzature studiate non rientrano in questa casistica, questo regolamento ci fornisce delle importanti indicazioni su come adoperare al meglio, quest'ultime. In modo particolare devono essere utilizzate sempre in luoghi aperti e ventilati, senza apportare in alcun modo modifiche "fai da te" all'apparato di scarico, oppure non provvedendo alla sua corretta riparazione e manutenzione, in modo da evitare di avere il getto dei gas combusti, diretto sopra la testa dell'operatore.

---

[108] DPR 459/96, Allegato I previsto dall'Art.2, Comma 1 (Requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine e dei componenti della sicurezza), di cui al Paragrafo 3 (Requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute per ovviare ai rischi particolari dovuti alla mobilità delle macchine), di cui al Punto 3.2 (Posto di lavoro) e Punto 3.2.1 (Il posto di guida)
[109] Confronta i Paragrafi 1.1.1 e 1.2.1
[110] DPR 459/96, Allegato I previsto dall'Art.2, Comma 1 (Requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine e dei componenti della sicurezza), di cui al Paragrafo 5 (Requisiti essenziali di sicurezza e di salute della salute per le macchine destinate ad essere utilizzate nei lavori sotterranei), di cui al Punto 5.7 (Rischi dovuti alle emissioni di polveri, gas, etc.)

Si avverte in fine che quando il decreto tratta in modo esplicito della sicurezza delle macchine portatili tenute e/o condotte a mano[111], non fornisce alcuna indicazione riguardo il rischio legato all'emissione degli aerodispersi.

4.4 Il D.Lgs. 66/2000

Il decreto legislativo del 25 febbraio 2000, n.66, attua le direttive 97/42/CE e 1999/38/CE che modificano la direttiva 90/394/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro.

Inoltre modifica il decreto legislativo 626/94, in modo particolare il Titolo VII[88], aggiungendo alla definizione di "cancerogeno" o "cancerogeni", anche le definizioni di "mutageno" o "mutageni".

Comunque l'aspetto più importante è la modifica dell'Art.62, Comma 3 del decreto legislativo 626, con il periodo "L'esposizione non deve comunque superare il valore limite dell'agente stabilito nell'allegato VIII-*bis*". L'importanza di tale affermazione sta nel fatto che per la prima volta, nella legislazione italiana, l'esposizione personale agli agenti cancerogeni è considerata in termini di *valore limiti di soglia*, cioè di concentrazione che non deve essere superata nel corso della giornata lavorativa che al massimo può assumere un valore di 8 ore/giorno oppure 40 ore/settimana.

I valori limite di esposizione professionale sono riportati nella tabella in calce all'Allegato VIII-*bis*, presente nel decreto e che si aggiunge alla 626.

---

[111] DPR 459/96, Allegato I previsto dall'Art.2, Comma 1 (Requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine e dei componenti della sicurezza), di cui al Paragrafo 2 (Requisiti essenziali di sicurezza e di salute della salute per talune categorie di macchine), di cui al Punto 2.2 (Macchine portatili tenute e/o condotte a mano)

Nome agente	EINECS (1)	CAS (2)	Valore limite di esposizione professionale		Osservazioni	Misure transitorie
			Mg/m^3(3)	Ppm (4)		
Benzene	200-753-7	71-43-2	3,25 (5)	1 (5)	Pelle (6)	Sino al 31 dicembre 2001 il valore limite è di 3 ppm (=9,75 mg/m^3)
Cloruro di vinile monomero	200-831	75-01-4	7,77 (5)	3 (5)	---	---
Polveri di legno	---	---	5,00 (5) (7)	---	---	---

(1) EINECS: Inventario europeo delle sostanze chimiche esistenti (European Inventory of Existing Chemical Susbstances).
(2) CAS: Numero Chemical Abstract Service.
(3) mg/m^3 = milligrammi per metro cubo d'aria a 20° e 101,3 Kpa (corrispondenti a 760 mm di mercurio).
(4) ppm = parti per milione nell'aria (in volume: ml/m^3).
(5) Valori misurati o calcolati in relazione ad un periodo di riferimento di otto ore.
(6) Sostanziale contributo al carico corporeo totale attraverso la possibile esposizione cutanea.
(7) Frazione inalabile; se le polveri di legno duro sono mescolate con altre polveri di legno, il valore limite si applica a tutte le polveri di legno presenti nella miscela in questione".

Tabella 12 Valori limite di esposizione professionale (Allegato VIII-*bis*, Art.61, Comma 2; Art.62, Comma 3 e Art.72, Comma 2, Lettera "a")

Come si evince dalla Tabella 12, il benzene emesso dalle attrezzature portatili, deve avere una concentrazione nell'atmosfera di lavoro (volume d'aria intorno all'operatore), non superiore ad 1 ppm.

Le altre parti della 626 che sono modificate, riguardano l'articolo 63, comma 2, con l'aggiunta del seguente periodo: "*la valutazione deve tener conto di tutti i possibili modi di esposizione, compreso quello in cui vi e' assorbimento cutaneo*".

Cambiano infine anche alcuni aspetti, riguardo la conservazione e l'aggiornamento del registro di esposizione e delle cartelle sanitarie[112], ed in particolare, il medico competente, per ciascuno dei lavoratori esposti[113,] provvede ad istituire e aggiornare una cartella sanitaria e di rischio, custodita presso l'azienda o l'unita' produttiva sotto la responsabilità del datore di lavoro. Inoltre il datore di lavoro è tenuto a comunicare ai

[112] D.Lgs. 66/2000, Art. 6 – Registro di esposizione e cartelle sanitarie –, che modifica il D.Lgs. 626/94, all'Art.70 – Registro di esposizione e cartelle sanitarie
[113] D.Lgs. 626/94, Art.69 - Accertamenti sanitari e norme preventive e protettive specifiche

lavoratori interessati, su richiesta, le relative annotazioni individuali contenute nel registro di cui al comma 1 e, tramite il medico competente, i dati della cartella sanitaria e di rischio.

In caso di cessazione di attività, il suddetto registro è spedito *all'ISPESL* (Istituto Superiore per la Prevenzione e Sicurezza del Lavoro) e non più all'organo di vigilanza competente territorialmente.

4.5 Il D.Lgs. 25/2002

Il decreto legislativo 2 febbraio 2002, n.25, che attua la direttiva 98/24/CE sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro, introduce nell'ambito del quadro giuridico nazionale significative innovazioni in merito alla individuazione dei valori limite di esposizione professionale che completano le disposizioni attualmente in vigore tramite il D.Lgs.277/91. La presente norma, nel recepire la Direttiva Comunitaria 98/24/CE fa riferimento con l'art.72-ter decies, in particolare per quanto riguarda i valori limite, alle disposizioni dell'Art.3 della stessa, in cui viene descritta, e quindi formalmente ribadita nell'ambito del nuovo quadro giuridico di tutela dei lavoratori dall'esposizione agli agenti chimici, la procedura che la Commissione ha da tempo adottato per la definizione dei valori limite e che quindi è da considerare quale procedura di riferimento per tutti gli Stati Membri dell'Unione Europea.

L'altro aspetto importante del presente decreto, sono le modifiche e le aggiunte al Titolo VII del D.Lgs. 626/94 e l'aggiunta ex novo, del Titolo VII bis, avente l'intestazione "Protezione dagli agenti chimici".

Il campo di applicazione di quest'ultimo riguarda:

1. Agenti chimici presenti durante il lavoro a qualsiasi titolo (impiego, deposito trasporto etc.);

2. Agenti chimici cha a qualsiasi titolo derivino da una attività lavorativa, quale risultato di un processo (saldatura, combustione, sintesi chimiche, stampaggio a caldo di materie plastiche, impiego di motori diesel ed a benzina, etc.);
3. Agenti cancerogeni e mutageni.

Il decreto definisce *agente chimico,* tutti gli elementi o composti chimici che, sia da soli che nei loro miscugli, allo stato naturale o ottenuti, sono utilizzati o smaltiti mediante qualsiasi attività lavorativa. Secondo la norma, si parlerà di *agente chimico pericoloso*, qualora la sostanza o il preparato in questione rientra nella classifica ai sensi del D.Lgs. 52/97 e D.Lgs. 65/2003 che abroga il precedente D.Lgs. 285/98.

Gli agenti chimici pericolosi sono classificati in:

* Molto tossici;
* Tossici;
* Nocivi;
* Irritanti;
* Sensibilizzanti;
* Tossici per il ciclo riproduttivo.

Le altre definizioni della norma riguardano quella di *sostanze e preparati non classificati* ai sensi della normativa vigente in materia di immissione sul mercato comunitario, ma dotati di etichettatura provvisoria del costruttore, quella di *sostanze e preparati che corrispondono ai criteri di classificazione della normativa vigente* (escluse le sostanze classificate pericolose per l'uomo e per l'ambiente), quali i cosmetici, i medicinali ad uso umano e veterinario, i prodotti fitosanitari, le munizione, gli esplosivi, etc. Un'altra definizione è quella di *agenti chimici che pur non essendo classificabili come pericolosi*

possono comportare un rischio per la salute e la sicurezza, a causa delle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche e delle modalità con cui sono utilizzati e presenti nel luogo di lavoro.

Un'attività che comporta l'esposizione ad agenti chimici, è quella attività lavorativa in cui sono utilizzati agenti chimici oppure se ne prevede l'utilizzo, durante le fasi di produzione, di manipolazione, di immagazzinamento, di trasporto, d'eliminazione e di trattamento dei rifiuti.

4.5.1 Titolo VII bis del D.Lgs. 626/94

Come visto precedentemente, il D.Lgs. 25/2002 modifica il Titolo VII della "626" e aggiunge alla presente legge il Titolo VII bis, completando così il "gap" normativo riguardo alcuni aspetti della valutazione del rischio chimico[114].

Con questa aggiunta alla "626", si introduce il concetto di *rischio moderato,* con il quale viene stabilito che se a seguito della valutazione, si osserva il non superamento della soglia di riferimento, il datore di lavoro applica le misure e i principi generali di prevenzione indicati nella norma[115], mentre in caso contrario, applica le misure specifiche di tutela[116]. Le misure specifiche riguardano la prevenzione e la protezione, le disposizioni in caso di incendi o emergenze, la sorveglianza sanitaria e l'approntamento delle cartelle sanitarie e di rischio. Ad esempio, per quel che concerne le visite presso il medico del lavoro, nel caso di un ambiente lavorativo con rischio chimico *non moderato*, i dipendenti oltre alle visite di routine (spirometria, pressione sanguigna, etc.), devono eseguire il controllo degli indicatori biologici (IBE), atti a valutare la presenza degli agenti chimici tal quali o dei loro metaboliti, nel sangue o nei tessuti.

[114] Confronta il Paragrafo 4.1 ed il Paragrafo 4.6.2.5.2
[115] D.Lgs. 25/2002 Art.72 quinquies – Misure e principi generali per la prevenzione dei rischi, Comma 1
[116] D.Lgs. 25/2002 Art.72 sexsies, septies, decises, undicies – Misure specifiche di protezione e di prevenzione, Disposizioni in caso di incidenti o di emergenze, Sorveglianza sanitaria, Cartelle sanitarie e di rischio

La soglia di passaggio da un rischio *moderato* ad un rischio *non moderato*, non è stabilita dal decreto, che rimanda invece alla norma tecnica UNI EN 689 del 1997 (Paragrafo 4.6). Questa stabilisce che per ogni agente chimico, il limite di "moderazione" è pari ad 1/10 del valore limite di soglia dello stesso, su un turno di lavoro, oppure di 1/4 del valore limite di soglia, su 3 turni[117].

4.5.2 Obblighi del datore di lavoro

Il titolo VII del D.Lgs. 626/94, così come viene modificato dal decreto numero 25, prevede l'obbligo fondamentale da parte del datore di lavoro di valutare il rischio chimico presso la propria attività.

Deve individuare eventuali rischi chimici presenti durante il lavoro, eseguendo un'analisi dettagliata del ciclo produttivo, delle sostanze in ordine di importanza quantitativa e qualitativa, del tempo di esposizione e del numero dei lavoratori esposti.

Tali considerazioni devono sempre essere avvalorate da misurazioni ambientali e personali (campionamenti).

Sono strumenti per l'effettuazione della valutazione del rischio, l'etichetta del prodotto, la scheda di sicurezza, gli eventuali disturbi legati all'uso dei prodotti, studi, bibliografia, linee guida etc.

Una volta individuato il rischio, il datore di lavoro adotta tutte le misure di prevenzione e protezione e cioè di tutti quegli interventi tecnici, procedurali ed organizzativi necessari a ridurre nei limiti consentiti l'esposizione degli addetti agli agenti chimici pericolosi.

La prevenzione primaria ha lo scopo di eliminare il rischio attraverso la sostituzione delle sostanze pericolose con altre meno aggressive, l'adozione di impianti a ciclo chiuso, l'automazione delle lavorazioni, etc. La prevenzione secondaria, è invece quella in grado di ridurre i livelli di esposizione entro limiti accettabili, attraverso la bonifica dei componenti

[117] Confronta i Paragrafi 4.6.2.5 e 4.8

degli impianti, lavorazioni protette, adozione di impianti di aspirazione localizzata alla fonte, adozione di processi e modalità operative non inquinanti, sorveglianza sanitaria, etc.

Qualora il rischio non possa essere eliminato del tutto devo essere adottate delle misure atte a proteggere l'operatore dai rischi connessi con l'esposizione agli agenti chimici, attraverso *DPC* (dispositivi di protezione collettiva), quali ad esempio l'aerazione e la ventilazione forzata dell'ambiente di lavoro, la verifica dell'efficienza dei ricambi d'aria etc., e attraverso *DPI* (dispositivi di protezione individuale), come le protezioni oculari, quelle per il corpo intero (tute), e quelle per le vie respiratorie (maschere, respiratori, etc.).

Le misure di protezione sono anche riportate sulle schede di sicurezza di ogni singolo prodotto[118].

Il nostro ambito di ricerca rientra pienamente nel campo di applicazione del D.Lgs. 25/2002. Infatti le attrezzature portatili emettono agenti chimici pericolosi durante il loro funzionamento, quali risultato di un processo che è appunto la combustione[119]. Purtroppo però di rado si osservano imprese boschive o di manutenzione del verde, che tengono conto nel proprio documento di valutazione dei rischi, del rischio di esposizione agli inquinanti aerodispersi in esame.

4.6 Norma tecnica UNI EN 689:1997

L'UNI[120] 689 del 1997 è la versione italiana della norma europea EN 689 edita nel febbraio del 1995[121] e fornisce le indicazioni per la valutazione dell'esposizione ad agenti

[118] Il contenuto delle schede di sicurezza deve riportare quanto descritto nel DM 7 settembre 2002 (16 punti di una scheda di sicurezza)
[119] Confronta il Paragrafo 4.6 di cui il punto 2 dell'elenco puntato
[120] Le norme CEN sono tradotte a cura dall'UNI (*Ente Unificatore Italiano*), e per quanto concerne quelle che riguardano i settori della chimica, la competenza e dell'UNICHIM (*Associazione per l'Unificazione nel settore dell'Industria Chimica*), ente federato all'UNI, che segue i lavori europei sull'argomento, per delega della Commissione Centrale Tecnica
[121] La presente norma europea è stata approvata dal CEN (*European Committee for Standardization, Comitato Europeo di Standardizzazione*). I membri del CEN devono attenersi alle Regole Comuni del CEN/CENELEC che definiscono le modalità secondo le quali deve essere attribuito lo status di norma nazionale alla norma europea, senza apportarvi modifiche. Le norme europee sono emanate in tre versioni ufficiali (inglese, francese e tedesca), mentre le traduzioni

chimici nelle atmosfere dei posti di lavoro, proponendo una strategia per confrontare l'esposizione per inalazione degli addetti con i rispettivi valori limite e la strategia di misurazione.

La norma ha lo scopo di assicurare la rappresentatività dei risultati al costo più contenuto possibile, fornendo schemi ed indicazioni per armonizzare i concetti fondamentali e gli interventi. Infatti nell'ambito dei processi industriali e in quelli da noi esaminati, si possono presentare numerose condizioni, ognuna diversa dalle altre, a causa della vasta gamma di sostanze chimiche impiegabili, della diversità dei processi, dalla distanza dalle fonti di emissione e dai parametri fisici, quali velocità di emissione, corrente d'aria, variazioni meteorologiche etc. Tale variabilità è resa maggiore anche dai comportamenti individuali e tutto ciò spiega il perché delle rapide fluttuazioni delle concentrazioni di sostanze contaminanti o ampie variazioni su distanze molto piccole. Pertanto il momento e la durata della campionatura sono decisivi.

La norma definisce alcuni aspetti:

- Il *posto di lavoro* è l'area o le aree definite in cui si svolgono le attività lavorative;
- *Valore limite*, o meglio il valore di riferimento per la concentrazione nell'aria di un agente chimico. I valori limite sono per lo più stabiliti per periodi di riferimento di 8 h, tuttavia possono anche essere fissati per periodi o per escursioni di concentrazione più brevi. I valori limite per gas e vapori sono espressi in termini indipendenti dalle variabili di temperatura e pressione dell'aria in ml/m^3, (ppm V/V) e in termini dipendenti da queste variabili in mg/m per una temperatura di 20°C e una pressione di 101,3 kPa. I valori limite per sostanze in sospensione sono espressi in mg/m^3 o

---

nella lingua nazionale, fatte sotto la propria responsabilità da membri del CEN e notificate alla Segreteria Centrale, hanno il medesimo status delle versioni ufficiali. I membri del CEN sono gli Organismi nazionali di normazione di Austria, Belgio, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Islanda, Italia, Lussemburgo, Norvegia, Paesi Bassi, Portogallo, Regno Unito, Spagna, Svezia e Svizzera.

multipli, alle condizioni ambientali effettive (temperatura, pressione) nel posto di lavoro. I valori limite delle fibre sono espressi in fibre/m^3 oppure in fibre/cm^3 alle condizioni ambientali effettive (temperatura, pressione) nel posto di lavoro;

* Il *periodo di riferimento*, cioè il periodo di tempo specificato per il valore limite di un agente specifico. Il periodo di riferimento per un limite a lungo termine è in genere di 8 h e per un limite a breve termine va da 10 a 15 minuti;
* Il *campionatore personale* (o dispositivo di campionamento personale) è un dispositivo applicato alla persona che raccoglie campioni di aria nella zona di respirazione.

La strategia comprende due fasi:

1. una valutazione dell'esposizione professionale (OEA). L'esposizione viene confrontata con il valore limite;
2. misurazioni periodiche (PM) per controllare regolarmente se le condizioni di esposizioni sono cambiate.

La valutazione dell'esposizione professionale si applica per la prima valutazione e viene ripetuta dopo una qualsiasi modifica consistente delle condizioni operative, del processo industriale, dei prodotti o sostanze chimiche o del valore limite. In questa prima fase non si deve seguire uno schema formale di valutazione ma viene lasciato al giudizio professionale dell'utente l'interpretare e l’applicare le linee guida.

Nella seconda fase la frequenza delle misurazioni periodiche dipende dal risultato delle precedenti misurazioni. L'esigenza di future misurazioni periodiche dovrebbe essere stabilita a seguito del risultato dell'OEA iniziale o di successive modifiche della stessa. Le esigenze comprendono il campo di applicazione e la frequenza delle misurazioni da eseguire. Le misurazioni periodiche seguono un procedimento definito nella valutazione

dell'esposizione professionale. In certi casi le misurazioni periodiche possono essere omesse. Nella figura 10 è riportata una schematica panoramica della procedura.

4.6.1 Strategia di valutazione

Dopo aver descritto l'attività ed il posto di lavoro è eseguita la valutazione dell'esposizione professionale che si articola in tre fasi:

1. identificazione dell'esposizione potenziale (elenco di sostanze);
2. determinazione dei fattori relativi al posto di lavoro;
3. valutazione delle esposizioni.

Per quanto concerne il primo punto, è necessario predisporre un elenco di tutti gli agenti chimici presenti nel posto di lavoro che deve comprendere anche la presenza di loro impurità, dei prodotti intermedi, prodotti finali, prodotti di reazione, prodotti di base e secondari. Successivamente, dalla bibliografia, si devono ottenere adeguati valori limite.

Per quel che riguarda la determinazione dei fattori riguardanti il posto di lavoro, è necessario valutare i processi e le procedure di lavoro al fine di stabilirne il potenziale di esposizione ad agenti chimici. Per questo bisogna analizzare in modo approfondito:

- mansioni, per esempio compiti e funzioni;
- attività e tecniche operative;
- processi di produzione;
- configurazione del posto di lavoro;
- precauzioni di sicurezza e procedure relative;
- impianti di aerazione e altre forme di controllo;
- fonti di emissione;
- tempi di esposizione;

* carico di lavoro.

Nella valutazione dell'esposizione delle esposizioni che permette di identificare il potenziale di esposizione dei fattori relativi al posto di lavoro e le loro interconnessioni, richiede un approccio in tre fasi, quali:

1. valutazione iniziale;
2. analisi di base;
3. analisi dettagliata.

Per il confronto con il valore limite si devono raccogliere i dati relativi alla distribuzione nel tempo e nello spazio delle concentrazioni delle sostanze nell'atmosfera del posto di lavoro. Tuttavia non occorre applicare ogni fase della valutazione. Se si presume che l'esposizione superi il valore limite oppure se è stabilito chiaramente che l'esposizione è ben al di sotto del valore, la valutazione dell'esposizione professionale può concludersi.

Per una corretta valutazione iniziale (primo punto), è necessario individuare tutte le variabili che interessano le concentrazioni presenti nell'aria, di sostanze vicine al soggetto, quali:

* il numero di fonti da cui sono emessi gli agenti;
* la velocità di produzione in relazione alla capacità di produzione;
* le velocità di emissione da ogni fonte;
* il tipo e la posizione di ogni fonte;
* la dispersione degli agenti dovuta a spostamenti d'aria;
* il tipo e il livello di efficienza degli impianti di scarico e di aerazione.

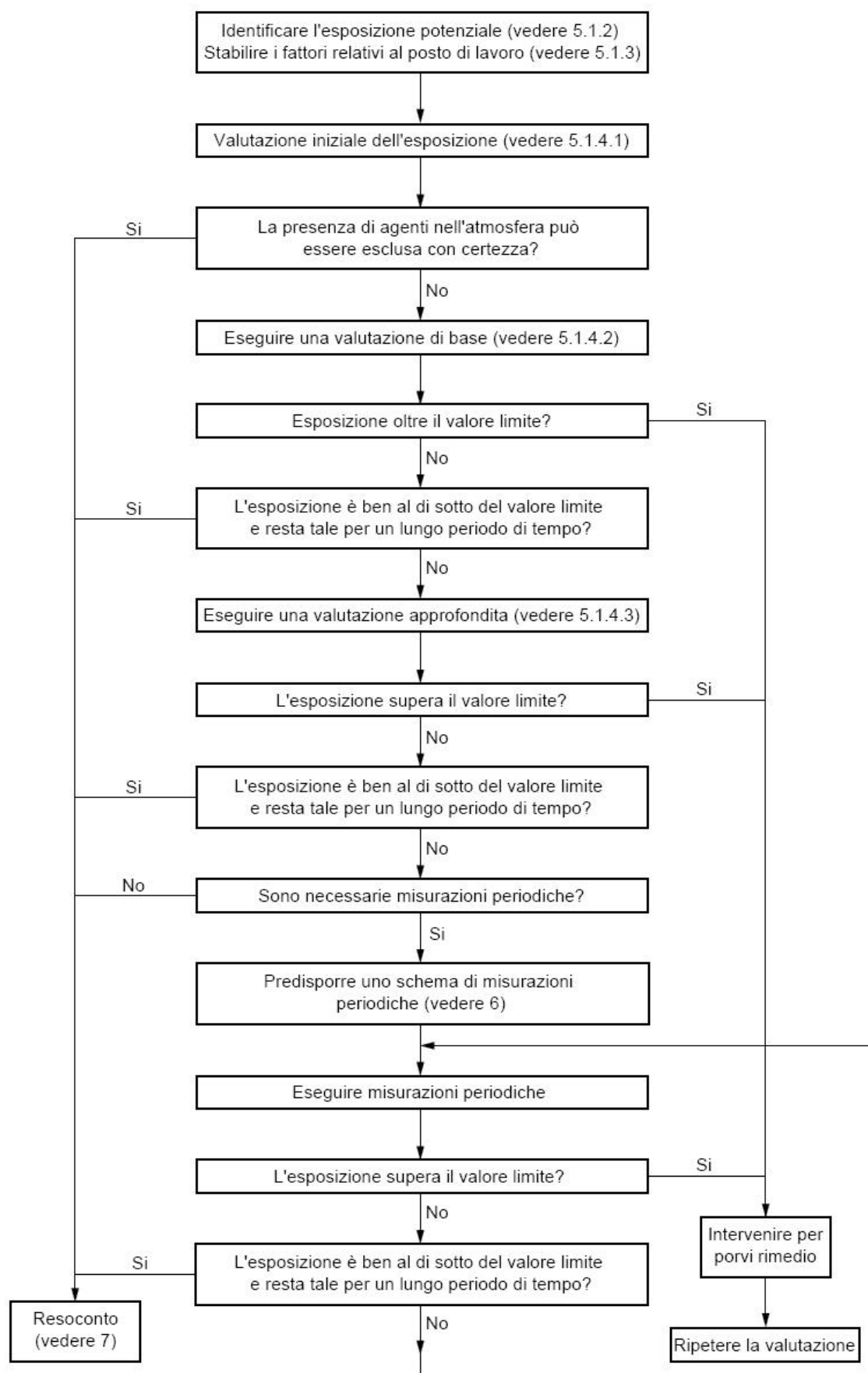



Figura 23 Panoramica schematica delle procedure descritte nella presente norma europea

Le variabili collegate alle azioni e al comportamento individuale sono:

* vicinanza della persona alle fonti;
* tempo trascorso in una certa zona;
* specifiche abitudini di lavoro dell'individuo.

Se questa iniziale valutazione indica che la presenza di un agente nell'atmosfera del posto di lavoro non può essere esclusa con certezza, tale agente deve essere oggetto di esame ulteriore (analisi di base).

Con il secondo punto e cioè attraverso un'analisi di base, si ottengono informazioni di tipo quantitativo riguardo all'esposizione degli addetti in esame, tenendo conto in particolare di compiti soggetti ad esposizioni notevoli. Le possibili fonti di informazione sono:

* misurazioni precedenti;
* misurazioni da impianti o procedimenti di lavorazione confrontabili;
* calcoli affidabili basati su dati quantitativi pertinenti.

Se le informazioni ottenute risultassero insufficienti a consentire un valido confronto con i valori limite, esse dovranno essere integrate con misurazioni sul posto di lavoro.

Con il terzo ed ultimo punto, e cioè con l'analisi dettagliata, sono fornite tutte le informazioni convalidate ed affidabili sull'esposizione stessa e se essa è prossima al valore limite.

In genere, per ottenere dati quantitativi sull'esposizione attraverso la misurazione, si dovrebbe prevedere un approccio che consenta l'utilizzo più efficiente possibile delle risorse. Laddove si presume che i livelli di esposizione siano nettamente al di sotto o al di sopra dei valori limite, questi casi chiari possono essere confermati utilizzando tecniche di

facile applicazione anche se meno precise. Altre possibilità possono prevedere le misurazioni nelle condizioni peggiori, il campionamento in prossimità della fonte di emissione o le misurazioni di controllo (vedere da 4.2 a 4.4 della EN 482:1994). In questi casi, la valutazione dell'esposizione professionale può così essere spesso conclusa senza ulteriori indagini. In altri casi, nei quali si presume che le esposizioni siano prossime ai valori limite, sarà necessario eseguire indagini più accurate, sfruttando appieno le capacità di tecniche strumentali e analitiche, se appropriate (vedere 4.5 della EN 482:1994).

4.6.2 Procedura di misurazione

La norma tecnica ammette che non è possibile dare indicazioni precise riguardo alla procedura di selezione di un addetto o di un gruppo di addetti (vista l'estrema variabilità di situazioni), per le misurazioni dell'esposizione, tuttavia fornisce alcune indicazioni generali.

Un possibile approccio prevede la scelta casuale di addetti tra un insieme di persone esposte. Tuttavia, dal punto di vista statistico, ciò richiede un numero piuttosto elevato di campioni. In molti posti di lavoro se si applica questo tipo di approccio c'é un considerevole rischio che piccoli sottogruppi di persone altamente esposte vengano del tutto trascurati.

L'approccio migliore prevede che si suddivida l'insieme del personale esposto in gruppi omogenei rispetto all'esposizione. La variabilità dei livelli di esposizione è minore per gruppi ben definiti che non per l'insieme della forza lavoro esposta. Pertanto se un gruppo di addetti svolge compiti identici o simili nello stesso posto di lavoro e presenta un'esposizione simile, il campionamento rappresentativo del gruppo può essere effettuato nell'ambito di tale gruppo.

I raggruppamenti presentano il vantaggio pratico che le risorse possono essere concentrate su quei gruppi di addetti caratterizzati dalla più alta esposizione.

È necessario verificare che i gruppi siano stati adeguatamente selezionati attraverso un esame critico delle attività e un'analisi dei dati preliminari di campionamento. Nell'ambito di un gruppo omogeneo i dati di esposizione saranno comunque soggetti a variazioni sia casuali che sistematiche.

Nel nostro ambito di ricerca, il tipo di approccio utilizzato è stato appunto quello della suddivisione in due gruppi omogenei, il primo riguardante gli addetti alle utilizzazioni forestali (volgarmente denominati “boscaioli”) e quelli destinati alla manutenzione del verde pubblico.

La valutazione professionale è richiesta anche quando si determina la dimensione del campione, in particolare riguardo a piccoli gruppi. Tuttavia, di regola, il campionamento dovrebbe essere eseguito per almeno un addetto su dieci, in un gruppo omogeneo adeguatamente selezionato.

La frequenza di esecuzione delle prove ed il numero di membri del gruppo selezionati per

le misurazioni dipenderà da quanto devono essere precise le stime dei parametri di distribuzione come per esempio la media e la varianza, da quanto le esposizioni sono inferiori al valore limite e dalla significatività dei livelli di esposizione prevalenti oltre che dalle caratteristiche delle proprietà delle sostanze. Quando la media aritmetica delle misurazioni dell'esposizione è prossima alla metà del valore limite, è probabile che alcuni risultati superino il valore limite.

Se l'esposizione è caratterizzata da picchi, questi ultimi vanno valutati con riferimento ad eventuali requisiti di limite di breve periodo.

La misurazione dovrebbe essere eseguita attraverso un sistema a punti fissi, in modo da valutare l'esposizione dell'addetto nel posto di lavoro. I campioni sono prelevati per quanto possibile all'altezza delle vie respiratorie e nelle immediate vicinanze degli

addetti. In caso di dubbio come punto di misurazione va considerato il punto di maggior rischio.

4.6.2.1 Selezione delle condizioni di misurazione

Considerando le possibili influenze di tutti i fattori relativi al posto di lavoro, le condizioni di misurazione vanno scelte in modo che i risultati forniscano una panoramica rappresentativa dell'esposizione nelle condizioni di lavoro.

La stima migliore dell'esposizione di un individuo si ottiene prelevando campioni nella zona delle vie respiratorie per tutto il periodo di lavoro. Informazioni complete sulla variazione delle esposizioni possono essere ottenute con strumenti di lettura diretta oppure predisponendo nuovi campioni ogni volta che cambiano le attività. Questa situazione ottimale non sempre è possibile e la distribuzione del tempo effettivo di campionamento dovrebbe essere impostata in modo da coprire al massimo quelle attività per le quali si dispone del minor numero di informazioni sulle possibili esposizioni.

Le misurazioni dovrebbero essere eseguite in un numero sufficiente di giornate e durante diverse operazioni specifiche per conoscere a fondo la situazione di esposizione. È importante considerare episodi diversi durante i quali le condizioni di esposizione possono variare (cicli notturni e diurni, variazioni stagionali).

Quando è possibile identificare chiaramente episodi con esposizioni più elevate, per esempio un’elevata emissione dovuta a certe attività, i periodi di prelievo dei campioni possono essere selezionati in modo da comprendere questi episodi. Tale approccio viene definito campionamento nelle condizioni peggiori.

Le condizioni peggiori si possono individuare analizzando in dettaglio le misurazioni caratterizzate da variazioni di concentrazioni nel tempo e nello spazio (vedere 4.2 della EN 482:1994).

Se, allo scopo di stabilire l'esposizione media bilanciata in 8 h, si presume che le concentrazioni rilevate in questi casi valgano per tutto il periodo di lavoro, questa ipotesi privilegerà l'aspetto della sicurezza.

Gli sforzi di campionamento possono essere così concentrati in periodi caratterizzati da condizioni relativamente sfavorevoli.

4.6.2.2 Schema della misurazione

Lo schema di campionamento può essere influenzato da numerosi fattori pratici, come frequenza e durata di compiti specifici, applicazione ottimale di igiene professionale e utilizzo di risorse analitiche. Entro questi limiti lo schema deve essere impostato in modo che i dati rappresentino i compiti identificati per periodi noti. Ciò vale in particolare per i molti posti di lavoro nei quali l'attività varia nel periodo di lavoro che di per sè può subire interruzioni e non raggiungere il totale di circa 8 h al giorno.

A condizione che gli schemi di concentrazione durante un certo periodo di lavoro non cambino in modo significativo, si possono scegliere tempi di campionamento che non coprono l'intero periodo. La durata di un singolo campionamento spesso è determinata da limitazioni imposte dal metodo di campionamento e di analisi.

Tuttavia i tempi non campionati restano un grave punto di debolezza per la credibilità di qualsiasi misurazione dell'esposizione. Durante tale tempo è necessario osservare attentamente i fatti. Il presupposto che non si siano verificati cambiamenti nel tempo non campionato deve essere sempre considerato in modo critico.

La procedura di misurazione deve fornire risultati rappresentativi dell'esposizione dell'addetto. Per misurare l'esposizione dell'addetto nel posto di lavoro si devono usare, quando possibile, dispositivi personali di campionamento, applicati al corpo degli addetti. La procedura di misurazione dovrebbe comprendere:

- gli agenti;

* la procedura di campionamento;
* la procedura analitica;
* il punto o i punti di campionamento;
* la durata del campionamento;
* i tempi e l'intervallo tra le misurazioni;
* i calcoli per ottenere la concentrazione di esposizione professionale in base ai singoli valori analitici[122];
* le ulteriori istruzioni tecniche riguardanti le misurazioni;
* le mansioni da sottoporre a monitoraggio.

Infine, se gli addetti sono esposti contemporaneamente o in tempi successivi a più di un agente (miscele di agenti), è necessario tenerne conto.

4.6.2.3 Conclusione della valutazione dell'esposizione professionale

La concentrazione dell'esposizione professionale è la media aritmetica di misure effettuate in uno stesso turno rispetto all'appropriato periodo di riferimento del valore limite dell’agente in esame. Nel caso di variazione dei tempi medi sarà necessario considerare i valori in base alle durate.

Alla termine della valutazione si possono avere tre seguenti conclusioni:

1. L'esposizione supera il valore limite. In tal caso:
    a. le ragioni del superamento del valore limite dovrebbero essere identificate e si dovrebbero attuare appena possibile i provvedimenti opportuni volti a porvi rimedio;

[122] Norma tecnica UNI EN 689:1997, Appendice “b” – Calcolo della concentrazione di esposizione professionale da valori analitici singoli

b. la valutazione dell'esposizione professionale dovrebbe essere ripetuta e si dovrebbero attuare i provvedimenti opportuni.

2. L'esposizione è ben al di sotto del valore limite ed è probabile che resti tale a lungo, data la stabilità delle condizioni sul posto di lavoro e l'impostazione del processo operativo. In tal caso non sono necessarie ulteriori misurazioni periodiche, tuttavia è utile una verifica regolare per stabilire se la valutazione dell'esposizione professionale che ha portato a questa conclusione resta valida.
3. Le esposizioni non rientrano nè nella categoria 1 nè nella 2. In questo caso, sebbene l'esposizione possa essere al di sotto del limite, si richiedono comunque misurazioni periodiche.

In certi casi le misurazioni periodiche possono essere evitate, secondo le proprietà dell'agente ed il processo operativo. I criteri di decisione per l'esecuzione o meno di misurazioni periodiche sono riportati nelle indicazioni tecniche emesse dalle autorità competenti. La 689 riporta tuttavia i criteri di scelta sulla necessità o meno di eseguire le misurazioni periodiche[123]. Esse sono dirette ad obiettivi di lungo termine quali quello di verificare che le misure di controllo restino efficaci. Si potranno ottenere informazioni sulle tendenze o i cambiamenti nel tipo di esposizione in modo da intervenire prima che le esposizioni diventino eccessive. Poiché il monitoraggio periodico è studiato per fornire informazioni differenti da quelle ottenute durante l'OEA, ne consegue che le strategie di campionamento applicate possano differire.

Al termine della valutazione, indipendentemente che essa sia il frutto di campionamenti o di misurazioni periodiche, devono essere redatti resoconti dell'esposizione professionale. Ogni resoconto deve indicare le motivazioni delle procedure adottate nello specifico posto di lavoro, e contenere:

[123] Norma tecnica UNI EN 689:1997, Appendice "e" – Determinazione delle misure periodiche

- il nome della persona/e o le istituzioni che eseguono la valutazione e le misurazioni;
- il nome delle sostanze prese in esame;
- il nome e l'indirizzo dell'azienda;
- la descrizione dei fattori relativi al posto di lavoro comprese le condizioni di lavoro durante
- le misurazioni;
- lo scopo della procedura di misurazione;
- la procedura di misurazione;
- i tempi previsti (data, inizio e fine del campionamento);
- le concentrazioni di esposizione professionale;
- tutti gli eventi o fattori che possono influenzare sensibilmente i risultati;
- i dettagli della eventuale garanzia di qualità;
- il risultato del confronto con il valore limite.

La concentrazione di agenti chimici nell'aria è generalmente la massa della sostanza nell'unità di volume dell'aria. La concentrazione per gas e vapori viene espressa in termini indipendenti dalle variabili di temperatura e pressione atmosferica in ml/m^3 (ppm) e in termini dipendenti da quelle variabili in mg/m^3 alla temperatura di 20°C e alla pressione di 101,3 kPa.

La concentrazione per sospensioni è indicata in mg/m^3 per le effettive condizioni ambientali nel posto di lavoro. La concentrazione di fibre di amianto è indicata in fibre/m3.

La concentrazione di altre fibre può essere espressa in unità simili a quelle previste per materiale in sospensione o fibre di amianto o entrambi secondo le unità utilizzate nelle norme applicate.

4.6.2.4 Calcolo della concentrazione da valori analitici singoli

Come è stato precedentemente accennato, la norma tecnica fornisce in appendice[124], le formule per il calcolo della concentrazione di esposizione professionale da valori analitici singoli. Questa procedura si applica esclusivamente quando il valore limite è stato fissato come media ponderata di 8 ore.

Il termine "periodo di riferimento di 8 h" si riferisce alla procedura in cui le esposizioni professionali in qualsiasi periodo di turno sono considerate equivalenti a una singola esposizione uniforme per 8 ore di esposizione (media ponderata di 8 ore, TWA).

La TWA di 8 h si può raffigurare matematicamente con la Formula 13.

$$\frac{\sum c_i t_i}{\sum t_i} = \frac{c_1 t_1 + c_2 t_2 + ...+ c_n t_n}{8}$$

dove:
c_i è la concentrazione di esposizione professionale;
t_i è il corrispondente tempo di esposizione in ore (h);
St_i è la durata del turno espressa in ore.

Equazione 14 Calcolo della concentrazione dei valori analitici

In conclusione, la norma tecnica UNI EN 689, meglio di qualsiasi altra legge, fornisce un valido schema per l’approccio sistematico alla valutazione del rischio di esposizione agli agenti di natura chimica, che oltre a trovare applicazione nel nostro contesto scientifico, può essere largamente utilizzato in tutti gli ambiti di consulenza sulla sicurezza

[124] Norma tecnica UNI EN 689:1997, Appendice “b” – Calcolo della concentrazione di esposizione professionale da valori analitici singoli

del lavoro. Per gli altri aspetti della sua applicazione nell'ambito della presente sperimentazione, si rimanda al Paragrafo 7.2.12.3.

4.6.2.5 Valutazione dell'esposizione personale (OEA) e professionale (OEC)

A questo punto, lo schema proposto dalla 689, prevede, dopo la valutazione dell'esposizione professionale (OEA)[125], il confronto con il valore limite per l'inquinante aereodisperso considerato, al fine di prevedere o meno, l'applicazione delle misurazioni periodiche (PM), necessarie a controllare regolarmente se le condizioni di esposizioni sono cambiate. Quindi tali misurazioni sono dirette ad obiettivi di lungo termine quali quello di verificare che le misure di controllo restino efficaci. Si potranno ottenere informazioni sulle tendenze o i cambiamenti nel tipo di esposizione in modo da intervenire prima che le esposizioni diventino eccessive.

Pertanto la valutazione dell'esposizione professionale si applica per la prima valutazione e viene ripetuta dopo una qualsiasi modifica consistente delle condizioni operative, del processo industriale, dei prodotti o sostanze chimiche o del valore limite. In questa prima fase non si deve seguire uno schema formale di valutazione ma viene lasciato al giudizio professionale dell'utente l'interpretare e l'applicare le linee guida. Nella seconda fase la frequenza delle misurazioni periodiche dipende dal risultato delle precedenti misurazioni. L'esigenza di future misurazioni periodiche dovrebbe essere stabilita a seguito del risultato dell'OEA iniziale o di successive modifiche della stessa. Le esigenze comprendono il campo di applicazione e la frequenza delle misurazioni da eseguire. Le misurazioni periodiche seguono un procedimento definito nella valutazione dell'esposizione professionale ed in certi casi possono essere omesse.

[125] Norma Tecnica UNI EN 689:1997, Appendice "C" – esempio di applicazione di una procedura formale per la valutazione dell'esposizione di addetti basata su misure per la valutazione dell'esposizione professionale (OEA)

Poichè il monitoraggio periodico è studiato per fornire informazioni differenti da quelle ottenute durante l'OEA, ne consegue che le strategie di campionamento applicate possano differire.

Esistono diversi tipi di strategie in rapporto alle specifiche circostanze del posto di lavoro e alla affidabilità delle informazioni richieste, e pertanto si dovrà scegliere una particolare strategia che dovrà essere mantenuta nel tempo.

Affinchè i risultati di un programma di campionamento periodico siano effettivamente utili è indispensabile poter confrontare serie consecutive di risultati. Ciò implica la necessità di programmare rigorosamente come, dove e quando raccogliere i campioni, per garantire che possa essere stimato l'errore complessivo e si possa riconoscere l'effettivo cambiamento della situazione di esposizione.

Programmi di monitoraggio periodico non ben studiati possono produrre una massa di documenti apparentemente rassicuranti ma con un modesto contenuto reale di informazioni che rendono molto difficile un'interpretazione affidabile.

L'intervallo tra una misurazione e l'altra dovrebbe essere stabilito dopo aver considerato i seguenti fattori:

* cicli di processo, compreso il caso di condizioni normali di lavoro;
* conseguenze del mancato controllo;
* prossimità al valore limite;
* efficacia dei controlli di processo;
* tempo richiesto per ripristinare il controllo;
* variabilità dei risultati nel tempo.

Nel considerare questi fattori, gli intervalli tra misurazioni periodiche possono andare da meno di una settimana a più di un anno.

La norma non stabilisce alcuna procedura formale per decidere se le esposizioni sono al di sotto dei valori limite nell'ambito dell'OEA. Anzi lascia spazio ad interpretazioni e applicazioni delle indicazioni con estrema libertà al fine di confrontare le esposizioni con il valore limite.

Si consiglia di applicare alle varie possibilità dell'OEA, per esempio le misurazioni nei casi peggiori, i calcoli affidabili supportati possibilmente da misurazioni delle emissioni e/o esperienza di impianti e processi paragonabili.

Le condizioni in essere nello specifico posto di lavoro determinano quale delle suddette opzioni sia da preferire. Vi sono però dei casi in cui sarebbe utile disporre di una procedura formale di valutazione dell'esposizione. La procedura qui descritta andrebbe intesa come esempio da utilizzare se si verificano le condizioni richieste.

4.6.2.5.1 Procedura formale

Le informazioni utilizzate nel confronto dell'esposizione con il valore limite si possono trarre esclusivamente dalle condizioni precedenti o attuali in essere nella zona di lavoro, o in altri posti di lavoro paragonabili. Tuttavia l'OEA comprende anche le condizioni future.

Pertanto include ovviamente un elemento di incertezza che può aumentare se, per esempio:

- l'esposizione si avvicina ai valori limite;
- la quantità di materiale utilizzato per il lavoro o la temperatura/pressione di processo aumentano;
- l'intervallo fino alla successiva misurazione OEA o periodica si prolunga.

Quando si applica una procedura formale di valutazione, occorre prestare attenzione al fine di garantire che siano rispettate le condizioni di applicazione della procedura. Ciò è tanto più importante quanto minore è il numero di misurazioni. In caso di dubbio si consiglia di:

- esaminare più dettagliatamente l'OEA;
- applicare misure permanenti per garantire che siano rispettate le condizioni della procedura formale;
- verificare l'esito della valutazione attraverso ulteriori misure selettive;
- ridurre le esposizioni attuando ulteriori provvedimenti di controllo tecnico.

Affinché possa essere applicata la procedura si ha quando sono rispettate le seguenti condizioni:

a) La concentrazione media del turno fornisce una descrizione rappresentativa della situazione di esposizione professionale, definita come concentrazione di esposizione *professionale ponderata nelle otto ore* (OEC). I picchi di esposizione che possono verificarsi sistematicamente nel corso del turno rispondono alle eventuali condizioni di esposizione limite a breve termine (STEL). Ogni singola OEC deve essere minore del valore limite. Se una sola OEC supera il valore limite, l'esposizione è maggiore del valore limite.

b) Le condizioni operative nel posto di lavoro si ripetono regolarmente. I fattori che provocano le emissioni sono specifici del processo o dell'impianto, ossia sono causate dalle quantità di materiale, dalle condizioni di processo (temperatura, pressione) oltre che dalle velocità di ricambio dell'aria nei locali chiusi o dall'efficienza della ventilazione.

c) Nel lungo periodo le condizioni di esposizione non cambiano sensibilmente. Questo vuol dire che le funzioni del posto di lavoro e il processo specifico nel turno non cambiano in modo rilevante da un turno all'altro.

d) Condizioni di esercizio chiaramente differenti vengono valutate separatamente.

4.6.2.5.2 Valutazione dell'esposizione professionale (OEC)

L'OEC viene divisa per il valore limite (*VL*) in base all'equazione 15:

$$I = \frac{OEC}{VL}$$

Equazione 15 Determinazione dell'indice della sostanza, I

Si potranno avere le seguenti interpretazioni:

a) Se l'indice per il primo turno è I = 0,1, l'esposizione è minore del valore limite. Se inoltre si può dimostrare che tale valore rappresenta le condizioni del posto di lavoro per lunghi periodi, si possono evitare le misurazioni periodiche.

b) Se ciascun indice di almeno tre diversi turni è I = 0,25, l'esposizione è minore del valore limite. Se inoltre si può dimostrare che tale valore rappresenta le condizioni del posto di lavoro per lunghi periodi, si possono evitare le misurazioni periodiche.

c) Se gli indici di almeno tre turni differenti sono tutti I = 1, e la media geometrica di tutte le misurazioni è = 0,5, l'esposizione è minore del valore limite.

d) Se un indice risulta I > 1, l'esposizione è maggiore del valore limite.

Se valgono le condizioni di cui i punti a), b) o c), si può concludere la valutazione dell'esposizione professionale. A questo punto si può affermare che il rischio chimico a cui è esposto l'operatore, è di tipo *moderato*, in base a quanto riportato nel D.Lgs. 25/2002[126].

Nel caso in cui invece le condizioni a), b) e c) non sono rispettate, sempre per la precedente norma, il rischio è di tipo *non moderato* e pertanto devono essere attivate le misurazioni periodiche[127], oltre alle altre misure previste per legge. Nel nostro caso visto che consideriamo un solo turno di lavoro, il superamento di 1/10 del *VL* di ogni aerodisperso considerato, è sufficiente a definire un *rischio chimico non moderato*.

La prima misurazione periodica si esegue entro 16 settimane dalla valutazione dell'esposizione e l'intervallo con cui eseguire le altre è stabilito in base al superamento del *VL* (valore limite). Tale intervallo è riportato di seguito:

1. 64 settimane se la concentrazione di esposizione professionale non supera 1/4 del valore limite;
2. 32 settimane se la concentrazione di esposizione professionale supera 1/4 del valore limite ma non supera 1/2 dello stesso;
3. 16 settimane se la concentrazione dell'esposizione professionale supera 1/2 del valore limite ma non supera il valore limite stesso.

Le misurazioni periodiche devono essere eseguite in normali condizioni di esercizio. Ciò può implicare che il programma debba essere modificato sulla base di una valutazione professionale e di una giustificazione scritta. Se la concentrazione dell'esposizione professionale supera il valore limite, la ragione del superamento del valore limite deve essere identificata e devono essere attuati appena possibile i provvedimenti opportuni e la valutazione dell'esposizione professionale deve essere convalidata.

[126] Confronta il Paragrafo 4.5.1
[127] UNI EN 689:1997, Appendice "F" – Esempio per la scelta di intervalli tra le misurazioni periodiche

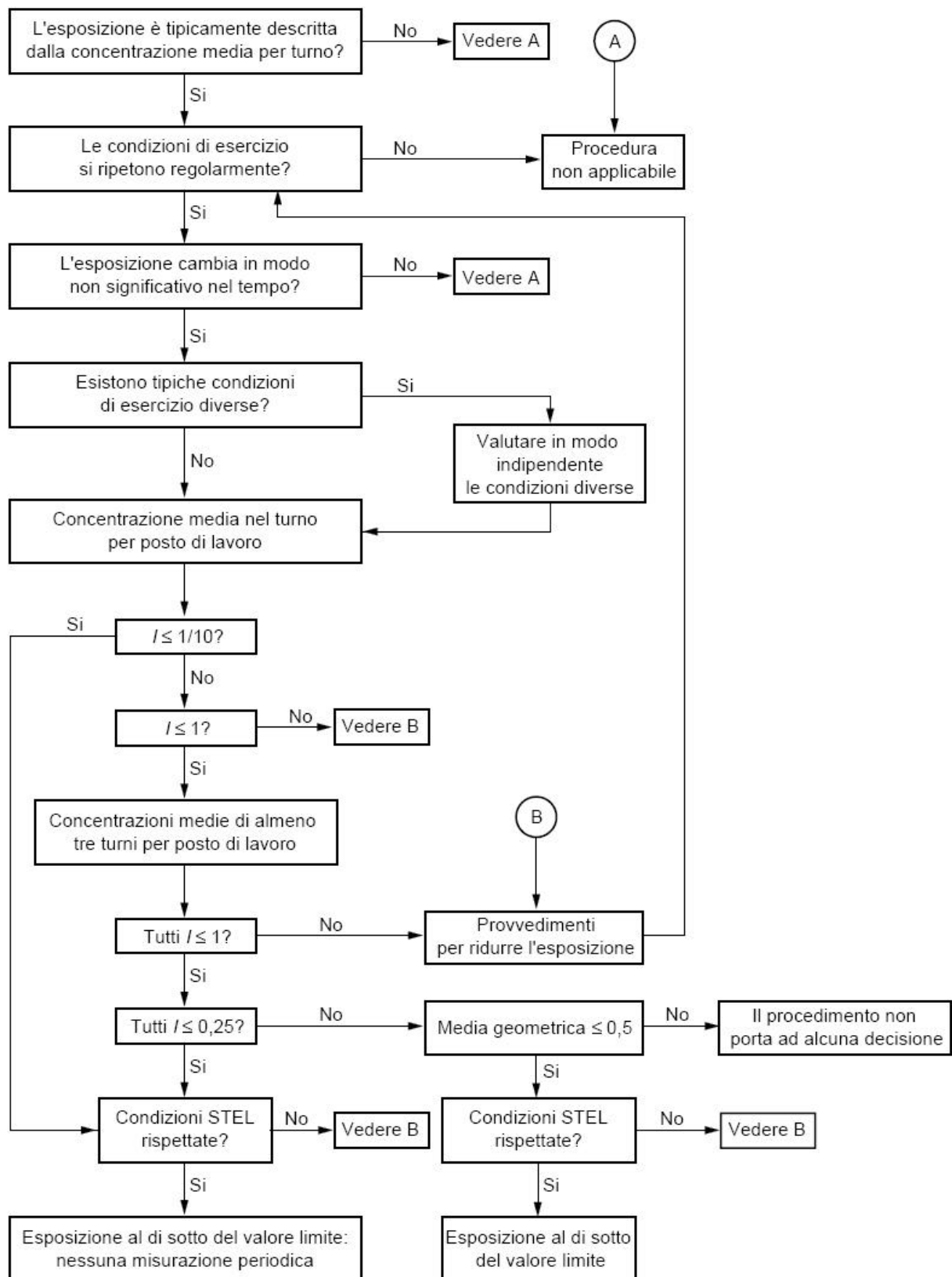



Figura 24 Esempio di applicazione della procedura formale (UNI EN 689:1997 Appendice”C”)

Nei casi b) o c) precedentemente visti, l'OEC può essere interpretata come la prima misurazione periodica. Il suo risultato può allora determinare l'intervallo fino alla successiva misurazione periodica. Se gli addetti sono esposti contemporaneamente o successivamente a più di un’agente, questo fatto va considerato.

4.7 Norma tecnica UNI EN 482:1998

La UNI 482**,** stabilisce i requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici indipendentemente dalla loro natura e stato fisico, nell’aria degli ambienti di lavoro. Essa si applica a tutte le fasi dei procedimenti di misurazione sia basati su campionatura ed analisi separate, sia su quelli su dispositivi a lettura diretta. La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 482, approvata dal CEN il 27 luglio 1994.

Le leggi e i regolamenti nazionali basati sulle direttive europee prevedono la valutazione dell'esposizione potenziale dei lavoratori ad agenti chimici presenti nell'atmosfera dell'ambiente di lavoro. Uno dei metodi per valutare tale esposizione consiste nella misurazione della concentrazione dell'agente chimico nell'aria respirata nell'ambiente di lavoro. I procedimenti utilizzati per tali misurazioni devono fornire risultati attendibili e validi in modo tale che dal loro confronto con valori limite prestabiliti sia possibile decidere se, per esempio, il valore di esposizione sia accettabile ovvero debbano essere adottate misure di controllo.

A causa della loro importanza nel processo di valutazione dell'esposizione, i procedimenti di misurazione devono soddisfare alcuni requisiti generali, forniti nella presente norma europea.

I requisiti di prestazione prescritti dalla presente norma comprendono la non ambiguità, la selettività, l'incertezza globale (una combinazione di precisione ed errore

sistematico) per i campi di misurazione minimi specificati, il tempo di stabilizzazione, etc. Idealmente, questi requisiti dovrebbero essere applicabili anche nelle condizioni ambientali dell'ambiente di lavoro. A causa del largo spettro di queste condizioni ambientali, i requisiti definiti nella presente norma europea devono essere soddisfatti dai procedimenti di misurazione in condizioni di laboratorio predefinite. Per alcuni ambienti di lavoro può essere necessario che i procedimenti di misurazione soddisfino i requisiti di prestazione in una gamma più ampia di influenze ambientali. Ciò deve essere stabilito caso per caso e non può essere trattato nella presente norma generale.

Nella presente norma, i metodi di prova per i procedimenti di misurazione sono forniti in termini generali. Poiché i metodi di prova dipendono dalle specifiche procedure o strumenti di misurazione, metodi di prova dettagliati verranno specificati nelle norme specifiche. Questi metodi di prova dettagliati devono essere coerenti con i metodi generali di prova descritti nella presente norma europea.

L'utilizzatore ha la responsabilità primaria di scegliere procedimenti o strumenti di misurazione appropriati che soddisfino i requisiti della presente norma europea. Un modo per giungere a tal fine consiste nell'ottenere informazioni o conferme dal fabbricante.

4.7.1 Riferimenti normativi

La presente norma europea rimanda, mediante riferimenti datati e non, a disposizioni contenute in altre pubblicazioni. Tali riferimenti normativi sono citati nei punti appropriati del testo e vengono di seguito elencati:

- EN 481 Atmosfera nell’ambiente di lavoro - Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse;
- ISO 78-2:1982 Schemi per la scrittura delle norme - Norma per l'analisi chimica;
- ISO 3534-1 Statistica - Terminologia e simboli - Probabilità e termini statistici generali;

* ISO 6879:1983 Qualità dell'aria - Caratteristiche prestazionali e concetti correlati per i metodi di misurazione della qualità dell'aria;
* prEN 689 Atmosfera negli ambienti di lavoro - Guida per la valutazione dell'esposizione agli agenti chimici ai fini del confronto con i valori limite e strategia di misurazione.

4.8 Valori limite di soglia

Nell'ambito della sperimentazione, gli altri valori limite confrontati con le emissioni prodotte dalle attrezzature portatili, sono quelli proposti dall'ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienist*[128]). Trattasi di una associazione professionale privata no-profit e non governativa, i cui associati sono igienisti industriali o altri professionisti nel campo della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. L'organizzazione si occupa degli aspetti tecnici ed amministrativi della salute negli ambienti di lavoro e di vita. L'ACGIH ha contribuito fortemente allo sviluppo ed al miglioramento della protezione della salute dei lavoratori.

L'ACGIH propone pertanto linee guida note come Valori Limite di soglia o *Threshold Limit Values* (TLV) ed Indici Biologici di Esposizione o *Biological Exposure Indices* (IBE), da utilizzarsi in ambito industriale, per decidere circa i livelli di esposizione che garantiscano la salute per esposizione a vari agenti chimici e fisici che si ritrovano negli ambienti di lavoro. Vengono quindi forniti come linee guida per l'utilizzo nella pratica dell'igiene industriale, ma non vengono studiati per essere utilizzati come valori di legge (standard). Tuttavia l'ACGIH è consapevole che, in talune situazioni, i TLV e gli IBE sono utilizzati quali standard legislativi da governi locali regionali e nazionali. Anche se l'associazione non approva questi usi, essa non si oppone, in quanto consapevole che l'uso dei TLV/IBE può contribuire ad un miglioramento globale della salute dei lavoratori.

[128] Conferenza Americana degli Igienisti Industriali

L’utilizzatore deve però conoscere i criteri e le limitazioni per un loro impiego appropriato ed è responsabile per questo tipo di utilizzo.

Ogni anno i valori di TLV e gli IBE sono pubblicati in una raccolta, che però non può costituire una linea netta di demarcazione tra livello di sicurezza e livello di pericolo.

Ad esempio, prendendo in esame l’acetone che ha un TLV-TWA di 1.188 mg/m³, non si potrebbe ragionevolmente pensare che con una concentrazione di 1.187 mg/m³ nell'ambiente di lavoro, si possa stare tranquilli, mentre con 1.189 mg/m³, debba necessariamente scattare l’allarme; un milligrammo in più o in meno non può certamente determinare l'esistenza o l’assenza di un rischio per la salute.

Se infatti si definisse per legge che al di sopra del TLV c’è rischio, mentre al di sotto c’è sicurezza, negli ambienti di lavoro in cui si supera il livello di allarme ci si preoccuperebbe semplicemente di raggiungere la linea del TLV. Si perderebbe pertanto ogni possibilità di introdurre cambiamenti positivi che consentirebbero di migliorare ulteriormente le condizioni di lavoro.

Comunque i limiti *dell’ACGIH* costituiscono un indice (attualmente il migliore esistente) da tenere in considerazione, se non altro come “soglia di attenzione” e come punto di partenza per la verifica delle condizioni dell’ambiente di lavoro, nell’ottica di un costante miglioramento della sicurezza dei lavoratori.

Si tratta di valori che in Italia non sono “ufficialmente” vincolanti per legge e quindi vengono utilizzati solo come riferimento generale per la valutazione della pericolosità di una sostanza.

Tuttavia nel nostro Paese, data la carenza di riferimenti legislativi in merito ai limiti di esposizione degli agenti chimici nocivi per l’uomo, la giurisprudenza è pienamente concorde nell’utilizzare i TLV *dell’ACGIH* quale strumento di riferimento negli ambienti di lavoro, come conferma la nota finale del DM 20/08/1999:

“In mancanza di riferimenti legislativi italiani, in valori limite di esposizione generalmente adottati per gli ambienti di lavoro sono in TLV (Threshold Limit Value = Valore limite di soglia) stabiliti annualmente dall'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ed editi in italiano dall'AIDII (Associazione italiana degli igienisti industriali). Allo stato attuale i soli riferimenti legislativi italiani relativi ad inquinanti chimici negli ambienti di lavoro sono quelli per il piombo e per l'amianto contenuti nel decreto legislativo 15 agosto 1991, n. 277 e nella Legge 27 marzo 1992, n. 257, omissis”.

I TLV indicano per ognuna delle sostanze indicate, le loro concentrazioni aerodisperse al di sotto delle quali si ritiene che la maggior parte dei lavoratori possa rimanere esposta, giorno dopo giorno, senza effetti negativi per la salute. Tuttavia, a causa della notevole variabilità della sensibilità individuale, una piccola percentuale di lavoratori può accusare disagio in presenza di alcune sostanze le cui concentrazioni siano pari o inferiori ai TLV. In una piccola percentuale di individui, si può osservare un effetto più marcato per l’aggravarsi di condizioni preesistenti o per l’insorgere di una malattia professionale. Inoltre anche il fumo di tabacco, nel caso di dipendenti fumatori, può incrementare gli effetti biologici delle sostanze chimiche presenti nell’ambiente e può ridurre i meccanismi di difesa dell’organismo contro le sostanze tossiche. Alcuni individui possono anche essere ipersuscettibili o sensibili in modo particolare a talune sostanze, in conseguenza di fattori genetici, dell’età, delle abitudini personali (uso di alcool, droghe o fumo di tabacco, etc.), cure mediche o esposizioni pregresse. Tali lavoratori possono risultare non adeguatamente protetti contro effetti avversi per la salute, da parte di sostanze presenti a concentrazioni pari o inferiori ai TLV. In queste situazioni, sarebbe auspicabile l’intervento del medico del lavoro per stabilire i limiti personali di esposizione.

I TLV sono stabiliti in base ai dati più attendibili ricavati dall’esperienza in campo

industriale, ai risultati di ricerche sperimentali sull'uomo e sugli animali e, quando possibile, alla combinazione dei tre elementi di giudizio. Il criterio con cui il limite tollerabile viene fissato, può variare a seconda del tipo di sostanza considerata; in alcuni casi ci si propone di prevenire i danni per la salute, in altri, di eliminare fenomeni irritativi, di riduzione dello stato di vigilanza, di disagio o altre forme di stress. I danni per la salute considerati, comprendono quelli che possono ridurre l'aspettativa di vita, compromettere le funzioni fisiologiche, ridurre la capacità di resistenza ad altre sostanze tossiche o alle malattie, influire negativamente sulla funzione riproduttiva o sui processi di sviluppo. La qualità e la natura delle informazioni disponibili per stabilire i TLV varia da sostanza a sostanza e in funzione del tempo. Di conseguenza la precisione dei TLV stabiliti, è soggetta a variazioni ed un loro utilizzo corretto dovrebbe prevedere la consultazione dell'ultima loro pubblicazione effettuata *dall'ACGIH*.

La divulgazione di questi standards in Italia, avviene attraverso le pubblicazioni *dell'AIDII* (*Associazione Italiana degli Igienisti Industriali*[129]), tra le quali citiamo il "Giornale degli Igienisti Industriali", pubblicato annualmente. Al suo interno sono presenti, in ordine alfabetico, tutti i composti chimici presenti nelle realtà lavorative e industriali, e i relativi valori limite di soglia che non devono essere superati (*TLV*). Le concentrazioni sono espresse in ppm (parti per milione) oppure in mg/m^3.

4.8.1 Definizione dei Valori Limite di Soglia

Esistono tre diverse categorie di valori limiti di soglia:

1. *TLV-TWA* (media ponderata nel tempo): è la concentrazione media ponderata nel tempo, su una giornata lavorativa convenzionale di 8 ore e su 40 ore lavorative settimanali, alla quale si ritiene che quasi tutti i lavoratori possano essere ripetutamente esposti, giorno dopo giorno, senza effetti negativi sulla

[129] E'l'equipollente Italiano dell'ACGIH statunitense, cioè un ente no profit che si occupa di igiene nell'industria e nell'ambiente

propria salute. E’ un valore limite per esposizioni prolungate nel tempo ed è il TLV più importante.

2. *TLV-STEL* (limite per breve tempo di esposizione): rappresenta la concentrazione alla quale si ritiene che i lavoratori possano essere esposti continuativamente per breve periodo di tempo senza che insorgano:

    a) irritazione;

    b) danno cronico o irreversibile del tessuto;

    c) riduzione dello stato di vigilanza di grado sufficiente ad accrescere le probabilità di infortuni, o influire sulle capacità di mettersi in salvo, o ridurre materialmente l’efficienza lavorativa, sempre nel presupposto che il TLV-TWA non venga superato.

Il *TLV-STEL* non costituisce un limite di esposizione separato indipendente, ma piuttosto integra il *TLV-TWA* di una sostanza la cui azione tossica sia principalmente di natura cronica, qualora esistano effetti acuti riconosciuti. I *TLV-STEL* vengono raccomandati quando l’esposizione umana o animale ad alta concentrazione per breve durata ha messo in evidenza effetti tossici. Un *TLV-STEL* viene definito come esposizione media ponderata su un periodo di 15 minuti, che non deve mai essere superata nella giornata lavorativa, anche se la media ponderata su 8 ore è inferiore al TLV-TWA. Esposizioni o concentrazioni comprese fra il TLV-TWA ed il TLV-STEL non devono protrarsi oltre i 15 minuti e non devono ripetersi per più di quattro volte al giorno. Fra esposizioni successive o concentrazioni comprese fra il TLV-TWA ed il TLV-STEL, devono intercorrere almeno 60 minuti. Un periodo di mediazione diverso dai 15 minuti può essere consigliabile se ciò è giustificato da effetti biologici osservati.

3. *TLV-C*, (C sta per ceiling, cioè “limite”): è la concentrazione che non deve essere mai superata durante qualsiasi momento dell’esposizione lavorativa. Nella pratica convenzionale di igiene industriale, il campionamento istantaneo non sempre è possibile; pertanto, per la valutazione di un *TLV-C* si può ricorrere ad un campionamento di durata non superiore a 15 minuti, eccezione fatta per quelle sostanze che possono dare luogo, anche per esposizioni particolarmente brevi, a fenomeni irritativi immediati.

Per alcune sostanze, quali i gas irritanti, riveste importanza la sola categoria del *TLV-C*. Per altre sostanze, in funzione della loro azione fisiologica, possono essere importanti, una o due categorie di TLV.

E’ sufficiente che uno qualsiasi dei tre TLV venga superato per presumere che esista un potenziale rischio di esposizione per la sostanza in questione.

Il Comitato per i TLV delle sostanze chimiche è del parere che i limiti di concentrazione indicati per prevenire manifestazioni irritative, non debbano essere considerati meno vincolanti di quelli raccomandati per evitare l’insorgenza di un danno per la salute. Sono sempre più frequenti le constatazioni che l’azione irritativa può avviare, facilitare o accelerare un danno per la salute, attraverso l’interazione con altri agenti chimici o biologici.

4.8.2 Valori limite di soglia proposti da altri enti

Oltre ai TLV *dell’ACGIH*, sono stati considerati, per le sostanze oggetto della sperimentazione, anche i valori limite di soglia proposti da altri enti operanti nel settore dell’igiene e sicurezza, come ad esempio il *NIOSH* (*National Institute for Occupational Safety and Health* – Istituto Nazionale Statunitense per la Sicurezza e la Salute sul Lavoro) e *l’OSHA* (*Occupational Safety & Health Administration* – Ente Amministrativo Statunitense per la Salute e la Sicurezza del Lavoro). Il motivo di tale ampliamento, è

duplice; da una parte si vogliono confrontare le opinioni riguardo la tossicità dei composti, dei vari enti di ricerca, dall'altro si vuole ricercare un valore limite di soglia per i VOC (composti organici volatili, quali metano, idrocarburi etc.) e cioè per quella miscela di idrocarburi, alcoli etc., che viene espulsa con i gas di scarico, e per i quali *l'ACGIH* non fornisce alcun riferimento (espresso solo per singola sostanza, come ad esempio il benzene, metano, butadiene, etc.).

L'unico ente che si esprime a riguardo è *l'OSHA*, con un *livello di azione*[130] pari a 0,5 ppm, mentre per quel che concerne le concentrazioni di benzene, si rilevano opinioni discordanti tra la normativa italiana (D.Lgs. 66/2000) che pone un limite di 1 ppm, *l'AGGIH* che stabilisce la soglia a 0,5 ppm (la metà del "valore italiano") e addirittura il *NIOSH* a 1 ppm (minore di 10 volte rispetto il decreto n.66 e di 5 volte, rispetto *l'ACGIH*). A questo punto rimane veramente difficile affermare quale dei precedenti valori sia realmente il più affidabile, anche se, sicuramente, i valori degli enti di ricerca, dato il loro continuo aggiornamento, danno maggiori garanzie rispetto a quelli della normativa italiana.

4.9 La direttiva 2002/88/CE

La direttiva numero 88 del 9 dicembre 2002, modifica la direttiva 97/68/CE, e concerne il riavvicinamento delle legislazioni degli stati membri, relative ai provvedimenti da adottare contro l'emissioni di inquinanti gassosi e particolato inquinante, prodotti dai motori a combustione interna destinati all'installazione su macchine mobili non stradali.

Questa norma riguarda esclusivamente le problematiche relative all'inquinamento ambientale e non fa alcun riferimento all'esposizione personale del lavoratore agli inquinanti aerodispersi, anche se è implicito considerare che una macchina ecologica, oltre a salvaguardare gli "equilibri naturali", salvaguardia anche la salute dell'uomo.

---

[130] Per *livello di azione* si intende la concentrazione superata la quale, è necessario approntare tutte le misure di prevenzione e protezione necessarie a ridurre i rischi connessi all'inalazione della sostanza chimica da parte del lavoratore

Le metodologie di rilevamento e i limiti imposti dalla presente direttiva, vengono considerati nello sviluppo del primo punto della sperimentazione, quello cioè riguardante la valutazione della concentrazione degli inquinanti contenuti nei gas di scarico delle motoseghe e decespugliatori, alimentate con miscele ecologiche.

La presente norma modifica la direttiva 97/68/CE che inizialmente si applicava solo ad alcuni motori ad accensione per compressione, estendendo il campo di regolamentazione anche ai piccoli motori ad accensione comandata[131]. Infatti anche queste tipologie di macchine contribuiscono sensibilmente ai problemi di qualità dell'aria, attuali e futuri, in particolare per quanto concerne la formazione dell'ozono. Questa legislazione è strettamente allineata alla corrispondente normativa degli Stati Uniti[132] e una continua armonizzazione risulterà vantaggiosa per l'industria e per l'ambiente.

Nella 2002/88/CE e prima ancora nella 97/68/CE è stata adottata una strategia in due fasi per i motori ad accensione comandata, in modo da favorire una regolamentazione del settore in questione in 4-5 anni.

		NO_x	NMHC[1]	CO	PT[2]
Stima delle emissioni di origine antropica nell'UE per il 1990	(kt)	13000	13000	48000	-
	(%)	100	100	100	-
Traffico stradale totale stimato nell'UE per il 1990	(kt)	6400	4000	31000	300
	(%)	49	31	65	-
Totale per tutti i motori non stradali	(kt)	2000	1200	5000	220
	(%)	15	9	10	-
Motori a due tempi a benzina	(kt)	2	815	1483	-
	(%)	0	6	3	-
Motori a quattro tempi	(kt)	20	118	2910	-

[1]Idrocarburi non metanici

[2]Particolato

La commissione europea ha così riassunto i risultati di uno studio, risalente agli inizi degli anni '90, per verificare la reale percentuale di inquinamento dovuta a piccoli motori con potenze inferiori a 19 kW ad accensione comandata

Tabella 13 Risultati dell'indagine condotta dall'UE riguardante le emissioni dei principali agenti tossici

[131] Confronta il Paragrafo 2.1

[132] In modo particolare alla legislazione promulgata dall'EPA (*Environmental Protection Agency* – Agenzia per la Protezione dell'Ambiente, Statunitense)

I principali agenti tossici la cui emissione è regolamentata dalla direttiva sono, gli idrocarburi incombusti (*HC*), il monossido di carbonio (*CO*) e gli ossidi di azoto (NO_X). La quantità di queste sostanze che viene emessa durante il funzionamento delle attrezzature portatili con motori di potenza inferiore ai 19 kW, è piuttosto importante. Per quanto concerne il particolato (PT), non rappresenta per questa categoria di macchine, una problematica tale da richiedere una limitazione.

4.9.1 Campo di applicazione

In principio (prima del 1997) la norma riguardava solo i motori con accensione per compressione con una potenza netta compresa tra i 18 e i 560kW, ma con le successive modifiche il campo di applicazione è stato esteso anche ai motori ad accensione comandata con potenza inferiore ai 18kW, visto che anch'essi contribuiscono in modo decisivo all'inquinamento atmosferico (Tabella 13).

Classe di potenza (kW)	Motori a due tempi NMHC(kt)	Motori a quattro tempi NMHC(kt)	Totale NMHC(kt)
0÷2	108,86	24,74	133,60
2÷5	323,58	29,18	352,76
5÷10	217,57	18,53	236,10
10÷18	113,54	3,48	117,02
18÷37	29,29	2,65	31,94
37÷75	11,72	27,67	39,39
75÷130	5,25	6,10	11,35
130÷300	5,30	5,52	10,82

Tabella 14 Contributo delle carie classi di motori alle emissioni di NHMC (idrocarburi non metanici)

La normativa classifica i motori in due categorie: *motori portatili* e *motori non portatili*. Affinché un motore possa essere definito portatile è necessario che soddisfi le seguenti condizioni:

- deve essere utilizzato su un'apparecchiatura condotta dall'operatore per tutta la durata delle operazioni previste;

* deve essere utilizzato su una attrezzatura che per svolgere le sue funzioni può operare in molteplici posizioni (capovolta o di lato);
* deve essere utilizzato su un'attrezzatura la cui massa complessiva (motore più attrezzatura) non superi i 20 kg e alla quale si applichi almeno una delle seguenti caratteristiche:
    - l'operatore deve fornire sostegno o trasportare l'attrezzatura per tutta la durata dell'operazione;
    - l'operatore deve sostenere o dirigere per tutta la durata della funzione da svolgere;

A loro volta le macchine portatili e non, sono classificate in base alla loro cilindrata e appartengono alla classe principale S, quando hanno piccoli motori con potenza inferiore a 19 kW. Sono poi suddivise in altre due categorie (Tabella 15):

* categoria H[133]: motori per macchine portatili;
* categoria N: motori per macchine non portatili.

Classe/categoria	**Cilindrata(cm^3)**	
Classe SH:1	< 20	MOTORI PORTATILI
Classe SH:2	da = 20 a < 50	
Classe SH:3	= 50	
Classe SN:1	< 66	MOTORI NON PORTATILI
Classe SN:2	da = 66 a < 100	
Classe SN:3	da = 100 a < 225	
Classe SN:4	da = 225	

Tabella 15 Classificazione delle attrezzature secondo la motorizzazione

4.9.2 Strategia in due tempi

La direttive 97/68/CE e 2002/88/CE hanno previsto un'attuazione in due fasi al fine di consentire all'industria il tempo necessario di sviluppare una tecnologia affidabile e sostenibile. Tuttavia in questo modo, si presenta l'inconveniente di avere tempi più lunghi

[133] Appartengono a questa categoria, le attrezzature portatili quali motoseghe, decespugliatori etc., trattate in questa sperimentazione

per l'introduzione degli standard. Le date di attuazione si sono stabilite in modo corrispondente alle tappe previste dagli USA. Nella tabella successiva è riportato il calendario di attuazione.

I fase di omologazione	II fase di omologazione	
Tutte le categorie di motori (cfr. il Par.4.8.1) dovevano rispettare i limiti previsti per la I fase entro:	Le seguenti categorie di motori devono rispettare i limiti previsti per la II fase entro:	
11 agosto 2004	SN:1 ed SN:2	1 agosto 2004
	SN:4	1 agosto 2006
	SH:1, SH:2 ed SN:3	1 agosto 2007
	SH:3	1 agosto 2008

Tabella 16 Fasi di attuazione o di omologazione

Come si evince dalla Tabella 16, la I fase di omologazione è ormai scaduta da tempo, mentre per la seconda, le ditte costruttrici di macchine appartenenti alle categorie SH1,2 e 3, hanno ancora alcuni mesi di tempo per adeguarsi agli standards.

VALORI LIMITE DI EMISSIONE							
		HC + NO_X (g/kWh)	NMHC + NO_X[134]	HC (g/kWh)	NO_X (g/kWh)	CO (g/kWh)	PT[135]
FASE I	SH:1	-	-	295	5,36	805	-
	SH:2	-	-	241	5,36	805	-
	SH:3	-	-	161	5,36	603	-
	SN:1	50,0	-	-	-	519	-
	SN:2	40,0	-	-	-	519	-
	SN:3	16,1	-	-	-	519	-
	SN:4	13,4	-	-	-	519	-
FASE II	SH:1	50	-	-	-	805	-
	SH:2	50	-	-	-	805	-
	SH:3	72	-	-	-	603	-
	SN:1	50,0	-	-	-	805	-
	SN:2	72	-	-	-	603	-
	SN:3	50,0	-	-	-	610	-
	SN:4	40,0	-	-	-	610	-

Tabella 17 Limiti di emissione

Nella Tabella 17 sono riportati i valori limiti previsti dalla 2002/88/CE sia per la prima fase (a titolo di informazione) che per la seconda.

[134] Per questa categoria di inquinanti (Ossidi di azoto nei vari stati di ossidazione, NO_X assommati agli Idrocarburi metanici, *NMHC*), attualmente la direttiva non pone alcun limite

[135] Anche per il articolato, la direttiva non pone nessuna limitazione

Per la valutazione delle emissioni delle attrezzature portatili, il costruttore ha la possibilità di eseguire la valutazione, nell'ambito della o delle *famiglie di motori* che egli produce. Il concetto di "famiglia di motori" è stato introdotto per limitare l'onere dell'esecuzione delle prove al costruttore, che ha pertanto un'ampia facoltà di decidere come comporre la famiglia di motori, concentrandosi sul "caso peggiore" all'interno della famiglia stessa. La famiglia di motori può essere definita in base a parametri fondamentali di progetto che devono essere comuni a tutti i motori della famiglia.

Affinché due motori siano considerati appartenenti alla stessa famiglia, devono avere in comune i seguenti parametri fondamentali:

- ciclo di combustione a due o quattro tempi;
- sistema di raffreddamento ad aria, ad acqua o ad olio;
- cilindrata unitaria: i motori devono rientrare in una fascia totale di variazione del 15%;
- metodo di aspirazione dell'aria che può essere ad aspirazione naturale o con sovralimentazione;
- tipo/disegno della camera di combustione, caratterizzata dalla pre-camera, camera di turbolenza e camera aperta;
- numero delle valvole e delle luci e le loro configurazione. Inoltre è necessario conoscere anche le dimensioni della testata cilindri, della parete dei cilindri e del basamento motore;
- sistema di alimentazione del carburante, caratterizzato dall'iniettore a pompa, dalla pompa in linea, dalla pompa distributore, elemento singolo, iniettore unitario, etc.;

* caratteristiche varie, quali ad esempio il ricircolo dei gas di scarico, l'iniezione d'acqua/emulsione, l'iniezione d'aria, il sistema di raffreddamento della sovralimentazione, etc.;
* post-trattamento dello scarico, con catalizzatore di ossidazione o catalizzatore di riduzione.

Il motore capostipite della famiglia di motori viene selezionato in base al criterio principale *della quantità massima di carburante erogata per ogni corsa al regime dichiarato di coppia massima*. Nel caso in cui due o più motori condividano questo criterio principale, il motore capostipite sarà scelto in base al criterio secondario *della quantità massima di carburante erogata per ogni corsa al regime nominale*.

L'omologazione viene effettuata sul motore peggiore cioè su quello che può presentare i livelli massimi di emissione all'interno di quella famiglia di motori. In certi casi l'autorità omologante può ritenere che il caso peggiore per quanto riguarda il livello di emissioni di una famiglia venga caratterizzato meglio provando un secondo motore.

4.9.3 Procedimento di prova per i motori ad accensione comandata

Al fine di stabilizzare i parametri motoristici, all'inizio di ogni prova, il motore della macchina ed il sistema di diluizione sono *condizionati*, portando il primo e regime massimo e alla coppia massima, allo scopo di stabilizzarne i parametri, secondo le raccomandazioni del costruttore. Il *condizionamento* serve però anche ad eliminare i depositi lasciati nel sistema di scarico da una precedente prova.

La regolazione del rapporto di diluizione non deve essere inferiore a quattro, ed inoltre deve essere nota la concentrazione di CO_2 o NO_X dell'aria di diluizione e prima e dopo la prova non devono variare tra di loro rispettivamente di 100 ppm o 5 ppm.

Successivamente si provvede a controllo degli analizzatori che dovranno essere azzerati e calibrati.

Per quanto concerne la conduzione della prova che ha lo scopo di stabilire i livellid i emissione per le sostanze sopra viste, la direttiva prevede che il motore sia fatto funzionare al dinamometro conformemente a dei cicli di prova, scelti in base alla tipologia della motorizzazione[136]. Le motoseghe, i decespugliatori, le soffianti, i tagliasiepe, le seghe meccaniche portatili per legno, le motozappe rotative, gli spruzzatori, le apparecchiature a depressione, etc. sono testati secondo il ciclo G3.

Il ciclo G3 prevede due modalità per la conduzione della prova, di cui una condotta a regime nominale[137] e l'altra al minimo. In quella condotta al regime nominale il carico[138] è del 100% con un fattore di ponderazione di 0,85 mentre in quella al minimo, il carico e dello 0% ed il fattore di ponderazione è 0,15.

CICLO G3		
Numero modalità	1°	2°
Regime del motore	Regime nominale	Minimo
Carico in %	100	0
Fattore di ponderazione = WF_i (I FASE)	0,85	0,15
Fattore di ponderazione = WF_i (II FASE)	0,90	0,10

Tabella 18 Schema del procedimento di prova, secondo la direttiva

Si definisce *durata della modalità* il tempo intercorso tra il momento in cui si abbandona il regime e/o la coppia della modalità precedente o la fase di precondizionamento e l'inizio della modalità successiva. Essa comprende il tempo in cui il regime e/o la coppia cambiano e la stabilizzazione all'inizio di ciascuna modalità.

[136] Confronta la tabella 15
[137] Per regime nominale si definisce la velocità massima a pieno carico ammessa dal regolatore (acceleratore a tutta manetta)
[138] Il carico percentuale rappresenta la frazione di coppia massima disponibile ad una data velocità del motore

$$conc\ (umido) = k_w \times conc\ (secco)$$

dove:

$$k_w = k_{w,r} = \frac{1}{1 + a \times 0{,}005 \times (\%CO[SECCO] + \%CO_2[SECCO]) - 0{,}01 \times \%H_2[SECCO] + k_{w2}}$$

Per il gas di scarico grezzo:

$$k_w = k_{w,e,2} = \left(\frac{(1 - k_{w1})}{1 + \frac{a \times \%CO_2[SECCO]}{200}} \right)$$

conc (umido) è la concentrazione in %vol del gas in condizioni di presenza di umidità;
conc (secco) è la concentrazione in %vol del gas in condizioni di assenza di umidità;
a è il rapporto idrogeno-carbonio nel carburante;
H_2 concentrazione di H_2 nello scarico che si calcola come segue:

$$H_2 = \frac{0{,}5 \times a \times \%CO[SECCO] \times (\%CO[SECCO] + \%CO_2[SECCO])}{\%CO[SECCO] + (3 \times \%CO_2[SECCO])}$$

k_{w1} e k_{w2}, sono calcolati:

$$k_{w1} = \left(\frac{1{,}608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}{1000 + 1{,}608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]} \right)$$

$$k_{w2} = \frac{1{,}608 \times H_a}{1000 + (1{,}608 \times H_a)}$$

dove:
H_d è l'umidità assoluta dell'aria di diluizione (g d'acqua per kg di aria secca);
H_a è l'umidità assoluta dell'aria di aspirazione (g d'acqua per kg di aria secca).
Per la misura della concentrazione di CO_2 si utilizzano due differenti fattori di conversione kw a seconda che la misurazione sia fatta sull'umido o sul secco.
Per la misura della CO_2 sull'umido, si applicano:

$$k_w = k_{w,e,1} = \left(1 - \frac{a \times \%CO_2[UMIDO]}{200} \right) - k_{w1}$$

$$k_{w1} = \left(\frac{1{,}608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]}{1000 + 1{,}608 \times [H_d \times (1 - 1/DF) + H_a \times (1/DF)]} \right)$$

Le emissioni degli NOX sono in funzione delle condizioni dell'aria ambiente e quindi la loro concentrazione deve essere moltiplicata per il fattore *KH* che tiene conto dell'umidità.
Per i motori a due tempi *KH* è uguale ad 1 mentre per quelli a quattro tempi si calcola in base alla seguente formula:

$$K_H = 0{,}6272 + 44{,}030 \times 10^{-3} \times H_a - 0{,}862 \times 10^{-3} \times H_a^2$$

Dove Ha è l'umidità assoluta dell'aria di aspirazione (g d'acqua per kg di aria secca)

Tabella 19 Equazioni e procedimento di conversione dal secco all'umido

Calcolo per il gas di scarico grezzo

$$Gasmass = \frac{MW_{Gas}}{MW_{Fuel}} \times \frac{1}{\{(\%CO_2[UMIDO] - \%CO_2 AIR) + \%CO[wet] + \%HC[UMIDO]\}} \times \%conc \times G_{FUEL} \times 1000$$

Dove:

G_{FUEL} è la portata massica di carburante [kg/h];

MW_{Gas} è il peso molecolare di ciascun gas [kg/mole];

MW_{FUEL} è il peso molecolare del carburante, calcolato nel modo seguente:

$$MW_{FUEL} = 12,011 + a \times 1,00794 + ß \times 15,9994$$

a e ***ß*** rappresentano rispettivamente il rapporto idrogeno-carbonio ed il rapporto ossigeno-carbonio del carburante;

CO_{2AIR} = concentrazione di CO_2 nell'aria di alimentazione (che se non viene misurata è calcolata allo 0,04%).

Pesi Molecolari

Gas	MW_{Gas} [kg/mole]
NO_X	46,01
CO	28,01
HC	$MW_{HC} = MW_{FUEL}$
CO_2	44,01

Per il gas di scarico grezzo diluito:

$$Gas\ mass = u \times conc_c \times G_{TOTW}$$

G_{TOTW} è la portata massica [kg/h] del gas di scarico diluito su umido;

$conc_c$ è la concentrazione di fondo corretta:

$$conc_c = conc - conc_d \times (1 - 1/DF)$$

in cui *DF* :

$$DF = \frac{13,4}{\%concCO_2 + (ppmconcCO + ppmconcHC) \times 10^{-4}}$$

Tabella 20 Equazioni e procedimento per il calcolo della portata massica d'emissione

Il ciclo di prova viene eseguito in ordine crescente di numero delle modalità. Quando vengono misurate le emissioni gassose il tempo minimo di campionamento è di 180 s ma i valori delle concentrazioni vengono misurati e registrati negli ultimi 120 s.

La durata della modalità deve essere comunque sufficiente a garantire il raggiungimento della stabilità termica del motore prima dell'inizio del campionamento. Dopo il controllo delle emissioni, l'analizzatore viene ricontrollato con un gas di

azzeramento e lo stesso gas di calibrazione. La prova è considerata accettabile se la differenza tra i risultati delle due misurazioni è inferiore al 2%.

4.9.4 Valutazione dei dati e calcoli

Per la valutazione delle emissioni gassose, bisogna calcolare la media dei valori registrati almeno negli ultimi 120 s di ciascuna modalità di funzionamento e determinare le concentrazioni medie di *HC*, *CO*, NO_X e CO_2 per ciascuna modalità.

La media è ponderata in base ai fattori di ponderazione. I valori delle concentrazioni limite sono riferiti sull'umido, quindi se l'analizzatore fornisce misure sul secco è necessario convertire queste in base al procedimento riportato nella Tabella 19.

4.9.5 Calcolo della portata massica di emissione

La portata massica per ogni modalità di prova si calcola con due equazioni a seconda che la si consideri per il gas di scarico grezzo o per il gas di scarico grezzo diluito. La portata massica, indicata con *Gas mass* è si esprime in g/h (Tabella 20).

4.9.6 Calcolo delle emissioni specifiche

Le emissioni specifiche (g/kWh) per tutti i singoli componenti sono calcolate con la seguente espressione:

$$Singolo\,gas = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Gas\,mass \times WF_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} \left(P_i \times WF_i\right)}$$

dove:
$P_i = P_{M,i} + P_{AE,i}$, è la potenza massima più la potenza assorbita dai dispositivi ausiliari;
WF_i è il fattore di ponderazione della modalità di prova.

Equazione 16 Calcolo dell'emissione specifica

4.10 Riepilogo sui valori limite considerati

Sulla base di ciò che è stato riportato nel capitolo concernente la normativa di riferimento, il limiti considerati nell'ambito della sperimentazione, sono riportati nelle tabelle successive e distinti in base agli obiettivi considerati.

Fase di Attuazione	Categoria della Macchina	**$HC + NO_X$** (g/kWh)	**HC** (g/kWh)	**NO_X** (g/kWh)	**CO** (g/kWh)
FASE I	SH:2	-	241	5,36	805
	SH:3	-	161	5,36	603
FASE II	SH:2	50	-	-	805
	SH:3	72	-	-	603

Tabella 21 Valori limite di emissione secondo la Direttiva 2002/88/CE

Limiti per il CO ppm	**Limiti per il Benzene** ppm				**Limiti per i VOC's** ppm	
riferimento **ACGIH**	riferimento **D.Lgs. 66/2000**	riferimento **ACGIH**		riferimento **NIOSH**	riferimento **OSHA**	
TLV TWA	Valori limite di esposizione professionale	TLV TWA	TLV STEL	TLV TWA	PEL (Permissible Exposure Level – TWA[139])	Action level[140]
25	1	0,5	2,5	0,1	0,75	0,5

Tabella 22 Valori limite nell'esposizione personale, durante l'attività lavorativa

[139] Livello limite di esposizione che non deve mai essere superato durante l'attività di lavoro
[140] Livello superato il quale è necessario attuare tutte le misure di prevenzione e protezione necessarie ad eliminare o ridurre il rischio

Capitolo 5. Attività svolte con l'ausilio delle attrezzature portatili

Come accennato precedentemente, le attrezzature portatili, ed in modo particolare le motoseghe e i decespugliatori, trovano larga applicazione in tutti gli ambiti lavorativi in cui si interviene sulla vegetazione, quali ad esempio le utilizzazioni forestali (abbattimento degli alberi in bosco) e la manutenzione del verde in città e nelle aree limitrofe.

Nei paragrafi successivi sono descritte alcune di queste attività e le metodologie per il corretto e quindi sicuro, utilizzo delle macchine.

5.1 Le utilizzazioni forestali

Le utilizzazioni forestali sono una branca delle attività professionali e delle Scienze Forestali che riguardano le metodologie di lavoro applicate ai boschi e alle piantagioni, per passare dalla pianta in piedi, ai suoi assortimenti ed alla loro raccolta.

La finalità principale delle utilizzazioni è quella di applicare le regole selvicolturali per garantire la continuità ed il miglioramento delle condizioni dei boschi e quindi dell'ambiente. Gli obiettivi generali sono:

- conseguire e conservare gli equilibri ecologici nella biodiversità;
- prevenire gli incendi;
- raccogliere il materiale legnoso;
- migliorare le condizioni igienico-sanitarie e di sicurezza di chi attua le pratiche selvicolturali.

Per quanto riguarda l'ultimo aspetto sopra citato, la normativa vigente obbliga tra l'altro i costruttori e i datori di lavoro a fornire macchine, strumenti e vestiario che, abbinati

alle informazioni e agli studi tecnici ergonomici, permettano un lavoro meno faticoso e meno suscettibile a causare malattie professionali, e quindi globalmente più sicuro.

5.1.1 Le fasi delle utilizzazione forestali

Le utilizzazioni si suddividono nelle fasi di *abbattimento e l'allestimento*, di *raccolta* e di *lavoro all'imposto*. La prima fase, dopo l'abbattimento della pianta, prevede la sramatura, la sezionatura e la scortecciatura che può essere fatta manualmente o semimeccanicamente, oppure all'imposto, con grosse macchine operatrici.

La raccolta comprende invece il concentramento ed il successivo esbosco del legname. La prima operazione comporta la movimentazione dei tronchi dal letto di caduta alle vie di esbosco o direttamente alle strade, mentre nella seconda operazione il legname viene trasportato fino all'imposto.

I lavori svolti durante la terza fase, comprendono l'accatastamento del legname, il carico e lo scarico, l'allestimento manuale o meccanico nel caso che non sia stato fatto in bosco, la sminuzzatura, la scortecciatura meccanica e raramente, anche la preservazione del legno, attraverso trattamenti chimici.

5.1.2 Utilizzo della motosega in bosco

La prima fase dell'abbattimento di una albero, consiste nella determinazione della direzione di caduta e nell'eliminazione degli ostacoli che possono limitare o rendere pericolosa l'operazione. Per questo motivo andranno preventivamente eliminati rami bassi, cespugli e sassi dalla zona del colletto per un raggio di almeno 1÷2 m, creando inoltre due vie di fuga a circa 45°, all'opposto della direzione di caduta. Si provvederà anche all'eliminazione dei contrafforti basali degli alberi per prevenire danni al toppo basale (il più pregiato) durante l'abbattimento.

Ultimata la preparazione della pianta si deve valutare la zona di pericolo entro la quale non deve trovarsi alcuno, durante la caduta della pianta. Questa zona è

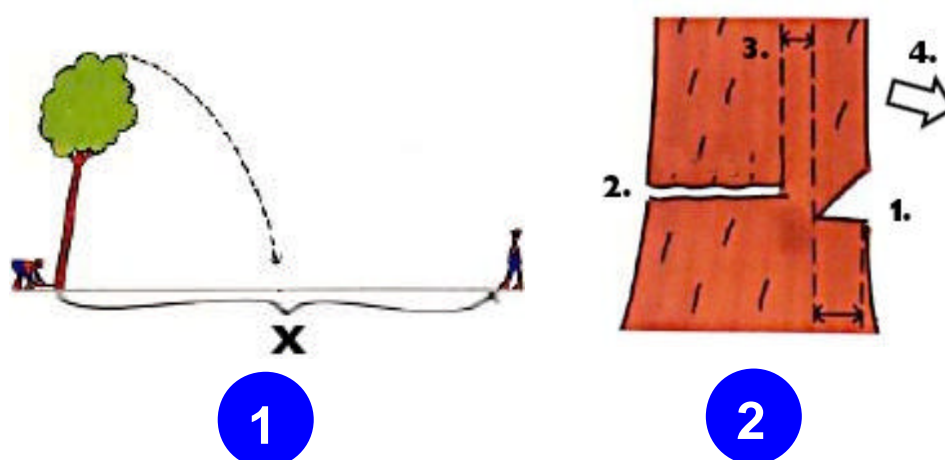
rappresentata da una superficie circolare con raggio doppio dell'altezza della pianta da abbattere (Figura 25).

① Area di sicurezza
② Abbattimento
1. Tacca di direzione;
2. Taglio di abbattimento;
3. Cerniera;
4. Direzione di caduta;
X. Area di sicurezza pari al doppio dell'altezza della pianta.

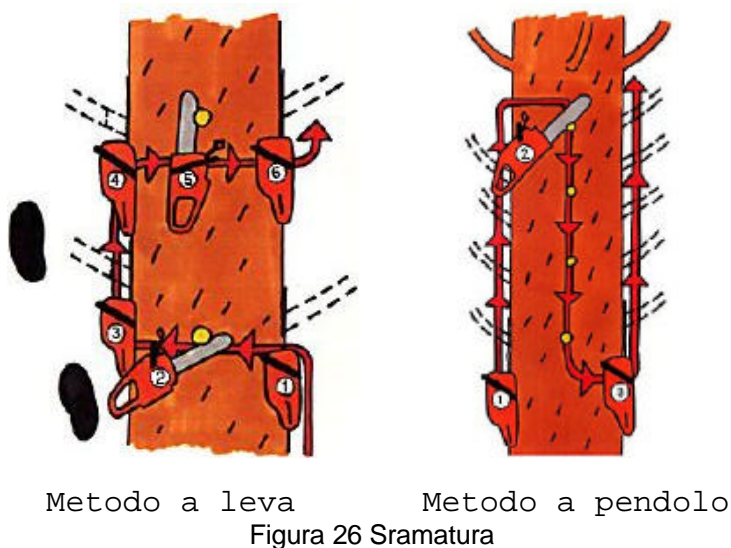
Figura 25 Abbattimento

Si procede quindi all'abbattimento che nel caso di piante con diametro al colletto inferiore a 20 cm si esegue con un solo taglio leggermente pendente verso la direzione di caduta. Nel caso la pianta presenti un diametro superiore, il taglio viene eseguito in più fasi successive. Inizialmente si effettua una tacca di direzione, costituita da due tagli di cui uno obliquo e uno orizzontale.

I due tagli sono ortogonali alla traiettoria di caduta ed hanno una profondità di circa 1/3÷1/4 del diametro del tronco. In genere si effettua prima il taglio obliquo e poi quello orizzontale che formeranno un angolo di 35°÷45°. Infine si esegue il taglio di abbattimento sul lato opposto del tronco, ad almeno 1/10 del diametro al disopra dell'altro taglio orizzontale. La zona integra tra la tacca ed il taglio di abbattimento è chiamata cerniera in quanto dirige la caduta della pianta. Il suo spessore è di almeno 1/10 del diametro.

L'abbattimento viene agevolato da accessori semplici ed economici di cui i più comuni sono i cunei e la leva di abbattimento che vengono inseriti nel taglio di abbattimento per sbilanciare la pianta verso la direzione di caduta.

Metodo a leva Metodo a pendolo

Figura 26 Sramatura

La sramatura consiste nel taglio dei rami rasente al fusto: a seconda del diametro dei rami vengono impiegate varie tecniche. Il metodo a pendolo (Figura 26) si applica ai rami con diametro inferiore ai 3 cm ed inseriti in modo regolare (conifere), mentre con diametri superiore ai 3 cm si impiega il metodo a leva (Figura 26).

1. punto ove eseguire il primo taglio;
2. punto dove eseguire il secondo taglio.

Figura 27 Situazioni generanti la tensione all'interno del tronco

La depezzatura viene eseguita con tagli perpendicolari all'asse longitudinale del tronco. Se il fusto è piccolo e perfettamente appoggiato a terra non ci sono problemi di depezzatura, ma se il fusto è grosso si potrebbero generare tensioni all'interno del legno.

In questo caso si inizia il taglio nella parte compressa e si procede fino a circa 1/3 del diametro, quindi si attacca dalla parte opposta fino a far combaciare i due tagli (Figura 27).

5.1.3 Utilizzo del decespugliatore, in bosco e non

In ambito forestale i decespugliatori sono impiegati negli sfolli dei boschi nati da seme, per tagliare cespugli nonché per l'eliminazione delle piante infestanti. La macchina viene impiegata anche per il taglio di piante con diametro al colletto inferiore ai 6 cm, e la sua utilizzazione si rende agevole ed efficace qualora la copertura vegetazionale non superi il 20% della superficie di lavoro. Nell'abbattimento di piante arboree con il decespugliatore vanno rispettate alcune regole al fine di rendere il lavoro più sicuro e più produttivo. Qualora le piante abbiano un diametro al colletto non superiore ai 6 cm si effettua l'abbattimento con un solo taglio obliquo (Figura 14). Se invece i diametri sono maggiori di 6 cm, il taglio si realizza con tre incisioni, di cui i primi due laterali ed il terzo nella parte opposta alla direzione di caduta. Per l'abbattimento di piante con diametro superiore ad 11cm, dapprima viene fatta la tacca di direzione e successivamente il taglio di abbattimento alla stessa altezza del primo taglio (come con la motosega, Figura 28).

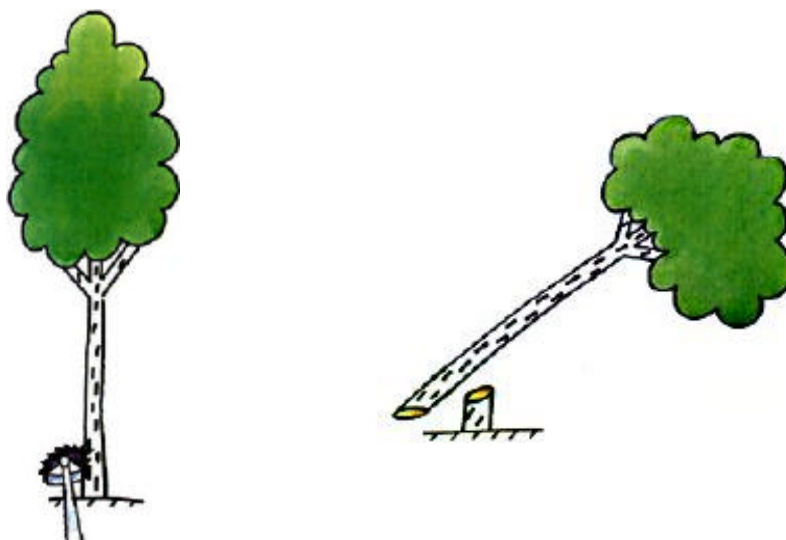
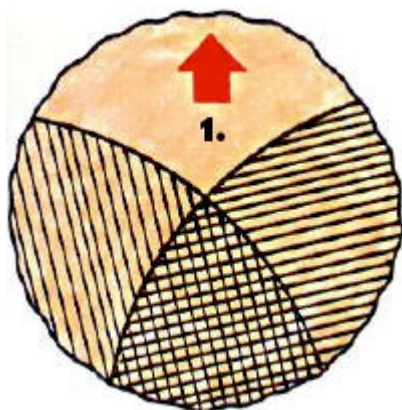
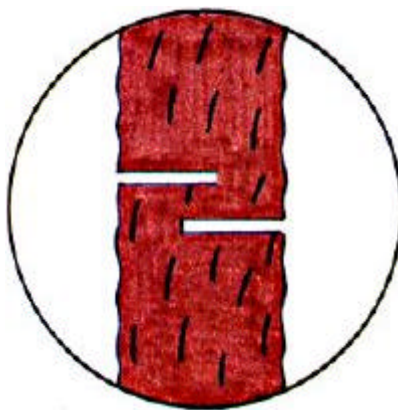



Figura 28 Abbattimento con il decespugliatore, per diametri uguali o inferiori a 6 cm

Tagli diametralmente opposti
1. direzione di caduta

Tagli diametrali visti frontalmente

Tacca di direzione e di abbattimento

Figura 29 Abbattimento con il decespugliatore, per diametri superiori a 6 cm

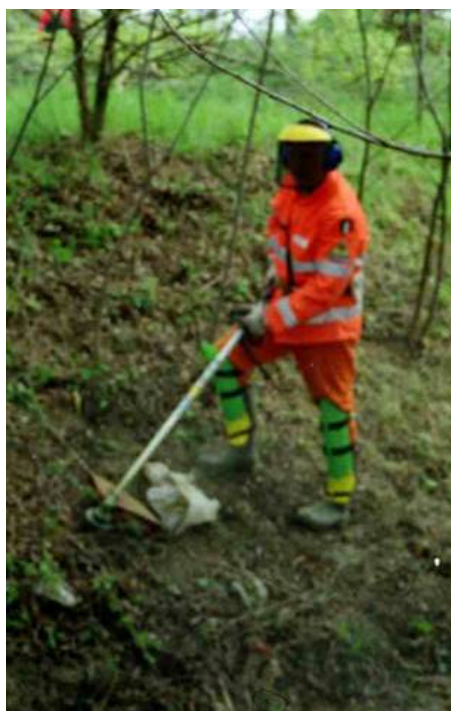



Figura 30 Uso del decespugliatore in bosco

5.2 La manutenzione del verde urbano e periurbano

Per verde urbano si intende l'insieme degli spazi coltivati, situati in prossimità dei centra abitati di proprietà pubblica o privata. Tra le principali tipologie di "verde" che sono presenti in città, annoveriamo le alberature stradali, costituite da alberi piantati lungo le strade o nei viali, importanti soprattutto per l'ombreggiamento e per la loro funzione estetica.

Figura 31 Alberature stradali

L'altra tipologia è quella dei giardini pubblici, intesa come luogo di ricreazione, spesso di dimensioni limitate, trova spazio principalmente nelle piazze cittadine o nei piccoli spazi lasciati liberi dalle costruzioni. Il parco è invece un terreno boscoso piuttosto esteso e recintato, nel quale trovano spazio vari tipi di utilizzo, dalle passeggiate nella natura al campo per attività sportive e ai giochi. Proprio per la sua caratteristica di vastità e di polifunzionalità, il parco è un luogo pubblico aperto a tutti e gestito in modo da conservare al meglio le sue funzioni estetiche e ricreative. Infine abbiamo le ville storiche, nate come ville private, anche di dimensioni molto grandi, situate in ambiente cittadino. La maggior parte di esse sono state acquistate dai Comuni, oppure donate dai privati. Esse possono contenere alberi ad alto fusto e arredi vari, come laghetti, statue, fontane oppure costruzioni disperse nel verde. A seconda delle dimensioni, possono configurarsi come parchi e assolvere a varie funzioni: ricreativa, culturale, sportiva ecc.

Le aree "verdi" urbane, grazie agli effetti che la vegetazione trasmette al clima, migliora le condizioni di vita dei cittadini, attraverso l'ombreggiamento, il rinfrescamento dell'aria dovuto alla evapotraspirazione delle piante, riduzione della velocità del vento e quindi del freddo, con il conseguente risparmio energetico. Inoltre "La foresta urbana" contribuisce alla riduzione della CO_2 nell'atmosfera, mediante l'accumulo nei propri tessuti legnosi. La vegetazione può giocare un ruolo importante nel mantenimento della qualità

dell'aria, per esempio con l'assorbimento di sostanze inquinanti, come l'ozono e gli ossidi di azoto mediante gli stomi sulla superficie fogliare, oppure con la capacità di intercettare le polveri o ridurre i livelli di ozono grazie al suo effetto sul microclima (infatti nei centri abitati le alte temperature estive favoriscono la formazione di ozono). Un'altra funzione importante è quella di ridurre l'emissione di idrocarburi degli autoveicoli in sosta, mediante l'ombreggiamento dei parcheggi. Importante è anche la funzione di intercettazione dell'acqua nella regimazione e nello smaltimento; infatti le chiome riducono e rallentano la corrivazione delle acque, migliorando la struttura del terreno, facilitando la permeazione dell'acqua. Gli spazi verdi creano anche le condizioni per ripristinare la biodiversità e la ricchezza faunistica del territorio. Si hanno anche benefici di altra natura: come quella economica, con aumenti dei valori immobiliari o quella sulle attività commerciali; o di natura estetica e paesaggistica, nel rafforzare l'identità culturale, architettonica e storica di molti centri abitati. I benefici possono essere anche di natura sociale, formando spazi per le attività sportive e ricreative. La sola presenza della vegetazione risulta un fattore di benessere psicologico.

Tuttavia si può affermare che il verde urbano non è solo fonte di benefici, ma può costituire, per le amministrazioni, un elemento di costo. Tali costi possono essere diretti o indiretti. I primi sono derivanti dalla realizzazione, dalla gestione e dalla manutenzione degli spazi aperti e della vegetazione, come ad esempio le spese per le potature, per la gestione degli alberi pericolosi, per i nuovi impianti e per gli abbattimenti. A questi costi vanno aggiunti poi quelli per l'amministrazione, l'organizzazione e la pianificazione. I costi indiretti sono legati invece a particolare ai conflitti che si verificano tra la vegetazione e le strutture urbane; fanno parte di questi costi i danni ai marciapiedi, alle fondazioni e alle condutture sotterranee.

I benefici e i costi sono fortemente influenzati dalla qualità della pianificazione e dalla realizzazione e gestione della componente vegetazionale della città, che comunque deve basarsi su un' approfondita conoscenza dell'esistente.

Spesso il patrimonio vegetazionale urbano è frutto di realizzazioni eseguite nel passato, e in molte città la rimozione degli alberi morti supera i nuovi impianti. Tutto ciò è il risultato della carenza delle pianificazioni, che si aggiunge alla carenza della qualità di realizzazioni. Anche la gestione e la manutenzione risentono negativamente dell'assenza di programmazione, e infatti in molti casi gli interventi gestionali vengono eseguiti saltuariamente, per rimediare a situazioni di emergenza (potature straordinarie, rimozioni di alberature decrepite o pericolanti), per cui sono assai maggiori le spese degli interventi "curativi" rispetto a quelle per gli interventi preventivi, che sono anche più efficaci.

I mezzo migliore per iniziare a porre rimedio a questi problemi è la redazione di un piano poliennale di gestione del verde, che deve essere basato sulla conoscenza e sulle indicazioni operative della selvicoltura urbana. Un piano di questo genere deve prendere in considerazione la tutela della vegetazione esistente, il controllo del suo stato fitosanitario e statico, la pianificazione dei nuovi impianti, il coordinamento dei lavori sul verde con gli altri settori dei lavori pubblici, e infine i rapporti tra amministrazione e cittadini.

Una valida pianificazione porta al raggiungimento di molti obbiettivi, quali il rendere gli interventi di gestione del verde sistemici e omogenei, favorendo un normale sviluppo allungando la vita degli alberi. In questo modo si migliora la qualità della vegetazione urbana e si massimizzano gli effetti positivi della vegetazione sull'ambiente urbano.

Gli interventi di gestione del verde in città, sono regolamentati da un apposito piano di gestione definito "regolamento del verde", che prevede l'applicazione dei seguenti interventi di manutenzione:

* potature di allevamento;
* potature di rimonda;
* potature di diradamento;
* potature di innalzamento della chioma;
* potature di riduzione e contenimento della chioma;
* ancoraggio e calibraggio di branche;
* abbattimento;
* estrazione ceppaia;
* concimazione;
* rigenerazione.

Oltre agli interventi sulle singole piante, alle ditte appaltatrici della manutenzione del verde potrebbero essere richieste altre prestazioni, quali:

* Tosatura dei tappeti erbosi, con un minimo di 15 interventi, da effettuare ogni 20 giorni da marzo a ottobre;
* Regolazione delle siepi da effettuarsi 3 volte all'anno;
* Potature stagionali dei cespugli e delle piante rampicanti;
* Spollonatura e potature di pulizia di tutte le piante;
* Rinnovo, quando necessario, dei prati e delle aiuole;
* Concimazioni da effettuare, dove e quando siano necessarie, anche alle specie erbacee;
* Attrezzare in spazi dell'area un deposito per il mantenimento di vasi floreali;
* Interventi con cicatrizzanti per le ferite provocate alle piante;

* Asportazione del materiale residuale delle potature, e il suo successivo trasporto;
* Svuotamento giornaliero dei cestini.

Di seguito sono approfonditi solo alcuni degli interventi sopraenunciati, quelli cioè che riguardano più da vicino gli obiettivi proposti dalla sperimentazione

5.2.1 Le potature

Per il mantenimento di un sistema, è necessario un continuo apporto di energia, la quale garantisce un corretto ed ordinario svolgimento delle funzioni primarie. Per salute si intende la capacità di resistere alle alterazioni del sistema. Un eccesso di stress, causato da un prolungato periodo di lavoro del sistema in condizioni limite, può provocare alterazioni, ossia cambiamenti irreversibili del sistema.

I limiti del sistema sono quelli in cui ci si può muovere per apportare o asportare ad esso materia, energia, fattori nutritivi, ecc. I sistemi naturali, per sopravvivere, si avvalgono della selezione naturale. Gli apparati del verde urbano ed extraurbano dovrebbero comportarsi proprio come in natura, ovvero permettendo la sopravvivenza solo dei migliori.

Gli alberi cresciuti in foresta presentano una ramificazione ascendente, accentuata, con i rami più bassi che deperiscono e muoiono precocemente. Una volta che gli alberi raggiungono il loro standard di altezza, la "freccia" di accrescimento principale tende a bloccarsi, mentre si sviluppano i rami codominanti, che fanno assumere all'albero la tipica forma "allungata". Le latifoglie sviluppatesi in città presentano invece la classica forma globosa, a causa del persistere sul fusto dei rami più bassi che con il trascorrere degli anni diventano maestose branche. Quest'ultime possono diventare un problema, qualora presentino corteccia inclusa o alterazioni meccaniche che determinano a volte, schianti improvvisi con un conseguente pericolo per l'uomo.

Gli alberi piantati in città si trovano in una situazione di massima insolazione, proprio perché ricevono la luce da tutti i lati, mentre in foresta solo dall'alto. Visto che la luce è

energia, si può affermare che gli alberi in città ottengano una quantità di energia superiore a quella ricevuta dalle piante cresciute in bosco. Naturalmente non si deve sminuire l'influenza del codice genetico di ogni singola specie, il quale garantisce a certi alberi di "resistere" allo stress indotto da un luogo di crescita fuori habitat. In città le piante si trovano in una condizione di stress più o meno accentuato. Questo stress sarà la causa di inevitabili alterazioni.

I concetti fondamentali per comprendere la conformazione di un albero sono la struttura e l'architettura. Con la prima si intende l'impalcatura principale, costituita dalle ramificazioni principali e secondarie che risulta essere non modificabile. Con la seconda si intende l'insieme di foglie e rametti che va a creare una forma ben precisa. La parte su cui si può intervenire con le potature, è proprio l'architettura della pianta.

Anatomicamente un ramo si presenta suddiviso due zone fondamentali, il midollo centrale che non è in correlazione con quello del tronco, e ci sono delle zone di protezione, le quali hanno un ruolo fondamentale ai fini della potatura. Le zone di protezione infatti, sono impregnate di sostanze preservanti (fenoli e terpeni) che garantiscono un'efficace protezione nel caso di cadute e rimozioni dei rami. E' pertanto opportuno, nell'esecuzione delle potature che il taglio venga eseguito in modo da non lasciare monconi che impedirebbero una buona cicatrizzazione della ferita. E' importante rilasciare una superficie completamente formata dalla zona di protezione. Nell'eseguire il taglio di un ramo con diametro superiore a 5÷10cm, è bene eseguire prima un taglio preliminare, per evitare le scosciature, rilasciando un moncone di 10÷20cm; successivamente si eseguirà il taglio di potatura.

Il collare va sempre lasciato illeso. E' proprio in base alle sue caratteristiche che viene stabilito l'angolo di taglio. In base ai tipi di collare, prominente, normale o piatto, si

potranno effettuare tagli di potatura più o meno inclinati e ravvicinati rispetto al tronco. Una volta eseguita la potatura, non sarà necessario utilizzare mastici cicatrizzanti.

Se il taglio è eseguito correttamente, la pianta è in grado di produrre la barriera di protezione[141].

Le operazioni di potatura consistono in asportazioni di parti più o meno importanti delle piante o in altre operazioni volte allo stesso fine della potatura. Per comodità, si possono distinguere le operazioni di potatura vera e propria dalle operazioni complementari. Lo scopo delle potature è quello di modificare la struttura scheletrica delle piante, onde conferire loro una forma differente, in genere più razionale; inoltre riducendo il vigore vegetativo, si stimola di più la fioritura. Contenere e ridimensionare lo sviluppo della chioma porta a ritardare l'invecchiamento della pianta.

Nei diversi momenti della vita delle piante, dovranno essere effettuate potature differenti: di allevamento, di maturità, e di senescenza. Tra queste, la potatura di allevamento si effettua su piante giovani, al fine di raggiungere rapidamente l'habitus definitivo voluto. La potatura di allevamento consiste in una leggera potatura per correggere e formare le piante, al fine di ottenere alberi ed arbusti ben rivestiti di rami tutt'intorno.

Le potature di produzione, nel campo delle piante ornamentali, vengono prevalentemente praticate in alcune specie fiorifere (rose, arbusti da fiore rampicanti, ecc.) al fine di regolare la periodicità della fioritura e la distribuzione dei fiori o dei frutti ornamentali.

Le potature di mantenimento sono praticate su specie costrette in forme obbligate. La frequenza degli interventi può essere annuale o ripetuta più volte nel corso dell'anno. Infatti, piante arboree spoglianti, di medio o grande sviluppo, potate a «quinta», a «pensilina», o in forme a sviluppo orizzontale, richiedono minuziosi interventi invernali e,

---

[141] Citazione tratta del libro "*Guida alla scelta di macchine e attrezzature forestali*" del Prof. S. Baldini e dott. R. Picchio

spesso, un intervento di potatura verde. Il mantenimento delle forme a siepe richiede, a seconda delle specie impiegate, frequenti interventi estivi da effettuare mediante forbici, seghe meccaniche, falcetti, etc. i rami recisi devono avere un diametro massimo di 1 o 2 cm. Non tutte le specie si prestano bene alle forme obbligate., perciò le potature di mantenimento di forma obbligata debbono venire effettuate con notevole frequenza.

Le potature di risanamento, di ringiovanimento, e di riforma, sono operazioni a carattere straordinario (veri e propri interventi di tipo chirurgico), da effettuarsi al fine di risanare gli alberi che presentano branche deperite o fusti compromessi da fatti degenerativi del legno, come la carie[142], attacchi di insetti xilofagi[143], etc.: questo intervento prende il nome di *risanamento*. Quando invece si asportano le parti colpite da malattie, o si stimolando l'attività vegetativa delle piante da frutto o da fiore senescenti, si parlerà di *ringiovanimento*. Ciò si attua asportando gran parte delle gemme da fiore, dalle quali si originano anche gli organi vegetativi, quali i rami riproduttivi o entrambi.

Le operazioni di potatura vera e propria si possono dividere in due gruppi:

1. Asportazione totale di branche o di rami (*potatura di diradamento*);
2. Asportazione parziale di branche o di rami (*potatura di raccorciamento*).

Le potature di diradamento sono interventi demolitori, a cui si ricorre principalmente nelle caducifoglie, per operazioni straordinarie di risanamento, di ringiovanimento, o di riforma. I tagli, da effettuarsi di preferenza durante il periodo di riposo vegetativo delle piante (Autunno- inverno), comportano la completa asportazione di una o più branche. Naturalmente i tagli debbono venire eseguiti con ogni cautela, onde evitare la "scosciatura" delle branche nel corso della loro esecuzione. I tagli di raccorciamento consistono nella parziale asportazione dei rami o delle branche. Il taglio deve venire praticato obliquamente, al di sopra di una gemma a legno o di una gemma mista.

---

[142] La carie è una fitopatologia degenerativa causata dell'azione di alcuni funghi che determina un graduale perdita di consistenza del legno e quindi una riduzione della resistenza meccanica della porzione di albero colpita
[143] Sono gli insetti che si nutrono del legno ormai non più vitale

Quando l'operazione è limitata alla parte apicale del ramo, viene definita spuntatura. Se l'operazione è molto energica e lascia solo un breve tratto di ramo, è detta *speronatura*.

Il raccorciamento dei rami si applica di solito agli alberi adulti in filari (alberature stradali), in spazi ristretti, al fine di mantenerne forzatamente lo sviluppo entro un modello prefissato, sia per impedire che i rami si dispongano troppo a ridosso delle case, degli impianti di illuminazione stradale o di altri impianti fissi, sia per facilitare le operazioni di potatura negli anni successivi, mantenendo artificialmente all'albero dimensioni ridotte.

Un’altra operazione di potatura da non dimenticare è la “*cimatura*”, che consiste nell'asportazione dell'apice dei germogli. Le cimature sono operazioni colturali che hanno lo scopo di favorire lo sviluppo di molti getti laterali, onde ottenere fioriture più copiose o, anche, di ritardarle.

Per quanto riguarda le operazioni complementari, queste sono, per esempio, l'inclinazione, la curvatura e la piegatura dei rami, etc.; sono atte a modificare il successivo sviluppo di un ramo o di una branca variando la sua naturale inclinazione rispetto alla verticale: sono complementari alla pratica della potatura vera e propria. La frequenza e l'intensità degli interventi di potatura variano a seconda che le specie arboree ed arbustive vengano lasciate sviluppare nella loro forma naturale (come frequentemente accade in parchi e giardini) o costrette in forme obbligate (a lato di viali, di canali, di piazze, o in giardini regolari).

Nel primo caso le potature si limitano a pochi interventi nella fase di allevamento e tendono pressoché ad annullarsi nella fase di mantenimento, rendendosi necessarie solo sotto forma di interventi straordinari, in seguito a fenomeni naturali (rotture, etc.) o per senescenza delle piante.

Per le forme obbligate, invece (siepi, quinte, viali a tunnel, pergole, ecc.), si rendono necessari numerosi e protratti interventi nel periodo di allevamento, a seconda della

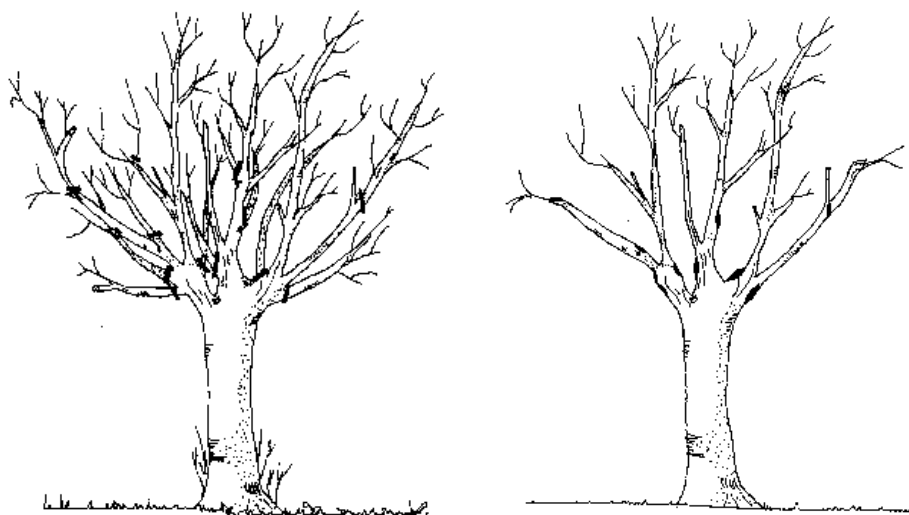
definitiva forma da raggiungere, e frequenti interventi nella fase di mantenimento. A seconda dell'epoca in cui viene effettuata, la potatura si distingue in potatura invernale ed in potatura verde. La potatura invernale viene effettuata nell'arco di tempo in cui la pianta cessa l'attività vegetativa. La potatura verde è quella eseguita nel corso dell'attività vegetativa annuale[144].

Esempio di potatura su latifoglia, allevata seguendo una forma prestabilita, atta a sfruttare al massimo la potenzialità produttiva della specie, in funzione delle condizioni ambientali.

Figura 32 Schema di una corretta potatura

Quanto descritto in questo paragrafo, rappresenta il modo corretto di operare e di pianificare gli interventi di potatura del verde ornamentale[145], e che quindi richiede la partecipazione di tecnici competenti, durante la progettazione e l'esecuzione di questi, nonché di operatori preparati e formati. Purtroppo in molte realtà comunali, questi aspetti sono trascurati ed il lavoro viene affidato a personale scarsamente qualificato e motivato. Inoltre "l'eterno" problema della esigua disponibilità economica delle casse municipali, fa si che gli interventi di potatura vengano fatti in modo sbrigativo e grossolano, con il conseguente scempio a cui si spesso si assiste in primavera, lungo le vie alberate delle nostre città, con alberi brutalmente capitozzati.

[144] Citazione tratta del libro "*Guida alla scelta di macchine e attrezzature forestali*" del Prof. S. Baldini e dott. R. Picchio

[145] Questa affermazione e piuttosto riduttiva, date le innumerevoli altre "funzioni" del verde in ambiente urbano e perturbano, che sono state viste in precedenza (Confronta il Paragrafo 5.2)

5.2.2 L’abbattimento degli alberi in città

Le procedure di abbattimento degli alberi in città, sono le medesime della selvicoltura produttiva, e per questo si rimanda al Paragrafo 5.1.2.

Durante le operazioni di manutenzione del verde urbano spesso si debbono effettuare abbattimenti di piante che ostacolano le attività umane (circolazione stradale, realizzazione di manufatti etc.) oppure malate. In quest’ultimo caso esse si presentano cave al loro interno o con legno attaccato da funghi, e perciò la cerniera non’è in grado di assolvere alla sua funzione. Quando il marciume interessa meno di 1/3 del diametro della pianta, si può procedere all’abbattimento, avendo cura di lasciare una cerniera pari ad almeno 1/7 del diametro della pianta nella zona di taglio. Nel caso di piante fortemente danneggiate è opportuno effettuare una tacca di direzione formata da tanti tagli orizzontali. Data la fragilità della pianta malata, è opportuno usare dei cunei o meglio il paranco, per evitare che un colpo di vento possa far cadere la pianta in un’altra direzione.

5.2.3 Tosatura dei tappeti erbosi

Per tosatura si intende comunemente il taglio del prato, il quale non ha solo una funzione estetica o funzionale e cioè di mantenere l’erba all’altezza voluta o per evitarne l’eccessiva crescita, ma anche quello di renderla più vigorosa, più fitta e di impedirne la fioritura che ne provocherebbe l'esaurimento precoce. Tuttavia, per ottenere questi vantaggi, si deve calibrare la tosatura, per frequenza ed altezza, in funzione della specie dominante nel miscuglio, in funzione anche dello scopo e del tipo di impianto, delle concimazioni, delle condizioni climatiche e dell’intensità di sfruttamento.

L’altezza deve essere regolata in modo tale che l’erba sia contemporaneamente la più alta possibile in rapporto all'impiego del tappeto e la più corta possibile senza

indebolire l'apparato radicale. L'altezza dipende dal tipo di erba; le specie stolonifere[146] sopportano tagli bassi meglio di quelle a crescita eretta. Inoltre l’altezza del taglio si deve regolare a seconda della stagione. In primavera la tosatura sarà alta, per favorire la ripresa dopo l’inverno, mentre in estate si effettuerà una tosatura a livello normale. In particolare nelle zone molto calde, le microterme[147] vanno tosate più in alto per proteggere gli apparati radicali, rendendoli più freschi. In zone d’ombra, il taglio va effettuato 1-2 cm più in alto del normale in modo da favorire la fotosintesi. Tuttavia, per non creare troppo stress alle piante, la tosatura non deve asportare più del 40% della superficie fogliare presente (anche se sarebbe meglio limitarsi al 30%), che corrisponde al 40-50% dell’altezza della vegetazione prima del taglio. Nel variare l’altezza di taglio, è sempre meglio procedere gradualmente, in modo da far abituare lei parti basali delle piante ad una maggiore intensità luminosa. Una tosatura eccessiva, in relazione al tipo di erba, porta ad una riduzione degli apparati radicali e quindi si deve aumentarea la frequenza delle irrigazioni, in particolar modo per le microterme. Tuttavia le potature hanno anche l’inconveniente di sensibilizzare le specie erbacee impiegate, ad alcune malattie.

La frequenza del taglio è regolata in base al tipo di erba, alla quantità di concime apportato e in base alla stagione. La situazione migliore sarebbe quella di tosare poco e spesso per mantenere in condizioni ottimali il tappeto. Questo intervento si effettua quando la vegetazione è cresciuta di circa il 50% rispetto all'altezza di taglio raccomandata (per esempio se l'altezza raccomandata è 5 cm, occorre tosare quando l'erba è alta 6-7 cm). Durante la primavera e l'autunno, quando la crescita delle specie microterme è maggiore, può essere necessario, per i prati ornamentali, un taglio alla settimana. Durante l'estate, quando l'irrigazione è scarsa, può bastare una tosatura ogni 2 settimane.

[146] Le specie stolonifere sono caratterizzate da propaggini che si accrescono strisciando orizzontalmente sul terreno, e che emettono radici in corrispondenza di ogni nodo

[147] Piante adattate elle temperature più fredde degli ambienti temperato-freddi

Figura 33 Esempio di un prato ben gestito

Nella manutenzione del verde urbano, un'operazione molto frequente è la pulitura delle scoline. Lo scopo principale della tosatura, in questo caso, è solo di evitare un'eccessiva crescita dell'erba, senza dare molta importanza all'altezza del taglio da effettuare.

Le attrezzature utilizzate per il taglio dell'erba vanno dal tosaerba a rullo di lame elicoidali frontali, al tosaerba a disco di coltelli rotanti. La prima attrezzatura, effettua un taglio migliore soprattutto ai bordi, ed è quindi indicato per i tappeti fini e bassi (*Agrostis ssp.*), privi di erbe infestanti e con l'erba ad altezza giusta e su terreno piano.

Il secondo attrezzo è adatto a tagliare erba più alta, anche se la qualità del taglio non è perfetta. Esso lavora anche su tappeti non piani e infestati da erbe a foglia larga. L'attrezzo maggiormente impiegato nella tosatura dei tappeti, in particolar modo nelle ripuliture di scoline o dei bordi stradali, è il decespugliatore.

Anche in questo caso valgono le considerazioni fatte nel paragrafo precedente[148] e cioè che molto spesso, per motivi di budget o di scarsa preparazione del personale tecnico ed operante, gli interventi di tosatura dei tappeti erbosi, sono realizzati in modo approssimativo e senza il dovuto rispetto nei confronti delle piante.

[148] Confronta il Paragrafo 5.2.1

Figura 34 Modello di tosaerba durante l'attività di taglio dell'erba

5.3 Norme di sicurezza

L'uso della motosega e del decespugliatore espone l'operatore a rischi derivanti dagli agenti fisici e chimici che si generano durante il loro impiego, oppure da rischi per la sicurezza e l'incolumità dell'utilizzatore, dovuti alla pericolosità intrinseca delle attrezzature, in quanto dotate di organi taglienti rotanti.

Gli effetti negativi sia acuti che cronici, si possono evitare in prima istanza, attraverso l'acquisto di macchine sicure e certificate[149] e che rispondono ai requisiti imposti dalla recente normativa nazionale sul rumore e sulle vibrazioni[139], ed in secundis, con l'idonea formazione e informazione degli operatori.

Dato che anche dopo l'adozione di tutte le misure di prevenzione e protezione, l'impiego di queste attrezzature presenta dei rischi residui non eliminabili del tutto (rumore superiore agli 85dB(A), vibrazioni dell'ordine dei 5 m/s^2, gas di scarico e pericolosità dell'organo di taglio), gli utilizzatori devono indossare idonei DPI (dispositivi di protezione individuale) e devono essere valutate delle corrette procedure per tutte le tipologie di attività svolte con queste macchine. Per quanto concerne quest'ultimo punto, le considerazioni fatte nei Paragrafi 5.1 e 5.2, e riguardanti il modo corretto per eseguire gli interventi sul "verde", valgono anche come base per la stesura di corrette procedure di sicurezza durante l'uso delle motoseghe e dei decespugliatori.

---

[149] Marcatura "CE" secondo quanto riportato dalla Direttiva "Macchine" 89/392/CE e dal suo recepimento nazionale, DPR 459/96 e per questo si confronti il Paragrafi 4.1, 4.2 e 4.3 e l'Introduzione

5.3.1 Dispositivi di protezione durante l'uso della motosega

① Abbigliamento protettivo completo

② Pantaloni antitaglio che svolgono la loro funzione di arresto del rocchetto della motosega, al contatto della lama con il corpo dell'operatore

Figura 35 Dispositivi di protezione individuale[www.stihl.com]

L'abbigliamento protettivo da indossare durante l'uso della motosega, comprende:

1. l'elmetto di protezione completo di visiera di tipo forestale e delle cuffie auricolari per attutire il rumore emesso dalla macchina, che raggiunge l'orecchio dell'operatore;
2. i guanti per proteggere le mani da eventuali ferite e per ostacolare la trasmissione delle vibrazioni prodotte dalle macchine[150];
3. calzature con suola antisdrucciolo, robuste, impermeabili e con puntale in acciaio;
4. giacca con colori vivaci per una facile individuazione e in tessuto antistrappo;
5. pantaloni di sicurezza con tessuto imbottito con fibre di nylon nella parte anteriore che bloccano il rocchetto della catena qualora venissero a contatto con i denti della medesima (Figura 35 -2);

[150] A tale scopo sono in commercio degli appositi guanti contro le trasmissioni delle vibrazioni testati in base alla certificazione CE EN10819

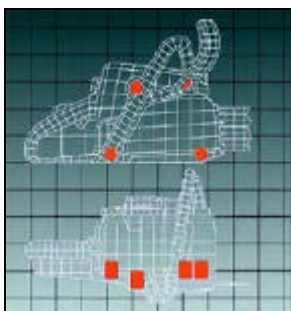
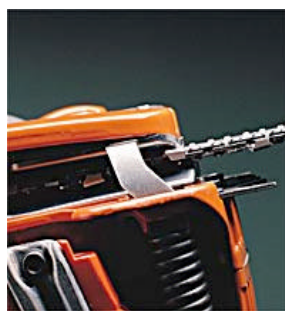
Ogni qualvolta si debba iniziare un lavoro, ci si deve assicurare di aver preso tutti gli attrezzi e accessori indispensabili per l'esecuzione dei lavori che devono essere svolti (es.: cinturone con tasche, cunei, accetta, leva di abbattimento, gira tronchi ecc.).

Le macchine e gli attrezzi utilizzati nei lavori selvicolturali devono essere efficienti e costruiti secondo le normative internazionali vigenti per consentire di ridurre gli incidenti e le malattie professionali.

Le motoseghe devono essere dotate di[151]:

1. *sistemi antivibranti*: sono dei tamponi in gomma che isolano il motore dalle impugnature per attutire le vibrazioni provocate dal movimento alternativo del pistone e dall'impatto della catena sul legno;
2. *freno catena*: arresta il movimento della catena quando il paramano viene a contatto con il dorso della mano. Alcune case costruttrici applicano il freno automatico che blocca la catena quando la barra fa un movimento anomalo;
3. *pulsante di sicurezza sull'acceleratore:* deve essere premuto contemporaneamente all'acceleratore affinché la catena cominci a girare;
4. *perno ferma catena:* si trova alla base della barra e serve ad interrompere la frustata della catena tagliente in caso di rottura;
5. *copri catena:* deve essere inserito sulla barra durante gli spostamenti con la motosega spenta;
6. marmitta (silenziatore) progettata e applicata alla motosega in modo che il tubo di scarico non sia diretto verso il viso dell'operatore in nessuna posizione di utilizzo della macchina. Deve essere munita di apposita protezione per impedire il contatto con l'operatore per evitare bruciature o scottature del vestiario.

[151] Confronta l'Introduzione ed il Paragrafo 4.1 e 4.2

Freno catena

Dispositivi antivibranti

Perno ferma-catena

Pulsante di sicurezza dell'acceleratore

Figura 36 Dispositivi di protezione della macchina

Per eseguire il lavoro con la motosega in modo sicuro per l'operatore, è necessario afferrare la motosega sempre con ambedue le mani[152], leggere attentamente le istruzione per l'uso prima della sua messa in funzione, non fumare durante l'impiego e nelle vicinanze dell'apparecchiatura per il pericolo d'incendio e fare il rifornimento in luoghi areati. Inoltre no bisogna adoperare la motosega in locali chiusi o scarsamente ventilati in quanto la motosega produce gas di scarico nocivi che possono risultare anche inodore ed invisibili[153]. Qualora si dovesse lavorare in fossi, avvallamenti, cave o in spazi stretti, bisogna sempre assicurarsi che ci sia un sufficiente ricambio d'aria. Nei lavori in altezza, quali ad esempio potature, e abbattimenti di alberi ornamentali, si deve operare solo su piattaforme di sollevamento e mai arrampicandosi su quest'ultimi, con la motosega alla mano. Per ridurre i rischi da *kick-back*[154] è bene evitare di far lavorare la barra nel settore indicato nella Figura 37.

Oggi grazie alla maggiore sensibilità verso le problematiche ambientali e alla maggiore conoscenza dei rischi connessi all'inalazione dei gas di scarico da parte degli operatori durante l'uso della motosega, molte case costruttrici hanno dotato i propri modelli di dispositivi catalizzatori.

[152] A meno che non si tratti di una motosega per potature che in tal caso può essere impugnata con una sola mano
[153] Confronta il Paragrafo 3.2
[154] Salto all'indietro della motosega quando la catena impatta su porzioni di legno più denso (più duro) oppure se incontra elementi metallici (ad esempio filo di ferro, porzioni di cartelli, etc., inglobati dalla pianta durante il suo accrescimento)

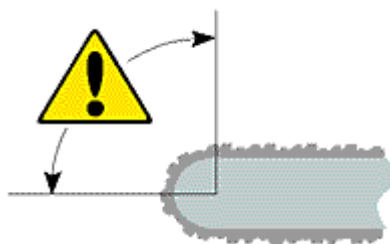



Figura 37 Settore di taglio della barra che può determinare il kick-back

L'applicazione di questi dispositivi ha posto speciali problemi ai ricercatori del settore: da un lato la potenza ed il regime termico del motore non dovevano essere compromessi e dall'altro occorreva tenere sotto controllo il calore durante la conversione chimica nelle celle del catalizzatore. Il catalizzatore inoltre non doveva aumentare in modo sensibile il peso della macchina.

Alcune case costruttrici sono riuscite a risolvere questi problemi. La STIHL[155] ad esempio ha realizzato la prima motosega dotata di catalizzatore con incremento di peso di soli 300 grammi rispetto allo stesso modello senza catalizzatore. Inoltre sia l'affidabilità che le potenze erogate risultano invariate.

Il catalizzatore dal canto suo riduce dell'80% il contenuto di idrocarburi nei gas di scarico grazie alla loro conversione termica nel silenziatore. Ovviamente tutte le macchine dotate di catalizzatore devono usare esclusivamente carburante senza piombo e olio per motori con elevate prestazioni nel rapporto 1:50 (cioè miscela con 2% di olio). Inoltre la corretta taratura del carburatore abbinata all'impiego del catalizzatore riduce il contenuto di sostanze nocive presenti nei gas discarico.

5.3.2 Dispositivi di protezione durante l'uso del decespugliatore

I maggiori rischi per la salute connessi all'uso dei decespugliatori, oltre a quello derivante dall'esposizione ai gas di scarico, sono riconducibili alle vibrazioni prodotte dalla

[155] Ditta tedesca leader nel settore mondiale per quanto riguarda le motoseghe e le attrezzature per la manutenzione del verde

macchina che si ripercuotono sul sistema mano-braccio dell’operatore, ed all’esposizione al rumore. I rischi per la sicurezza sono dovuti soprattutto alla possibilità che l’operatore si procuri delle ferite con l’organo di taglio. Per prevenire questi rischi è necessario acquistare macchine rispondenti alle norme di sicurezza e con la dotazione di un equipaggiamento certificato.

Il kit dell’abbigliamento protettivo è simile a quello che si deve indossare durante l’uso della motosega, ma è privo ad esempio dei pantaloni di sicurezza con tessuto nylon anti-taglio, in quanto le probabilità di contatto degli arti inferiori con l’organo tagliente dell’attrezzatura, è bassa.

I dispositivi di protezione dell’addetto al decespugliatore, comprendono:

1. casco di sicurezza completo di visiera di tipo forestale e delle cuffie auricolari per attutire il rumore;
2. guanti in cuoio per proteggere le mani da eventuali ferite e per ostacolare la trasmissione delle vibrazioni prodotte dal decespugliatore;
3. calzature con suola antisdrucciolo, robuste, impermeabili e con puntale in acciaio;
4. giacca con colori vivaci in tessuto antistrappo;
5. bretella o bandoliera a rapido sganciamento.

I moderni decespugliatori sono dotati di sistemi di sicurezza passivi, relativi soprattutto ai rischi da vibrazione ed a quelli da contatto con l’organo di taglio. Si hanno perciò i *sistemi antivibranti*, costituiti da supporti in gomma ed in molle disposti tra il motore ed il telaio in numero variabile, il *pulsante di sicurezza sull’acceleratore*, che consente l’arresto del motore e dunque dell’organo di taglio in situazioni di rischio o di movimenti

accidentali e la *protezione sulla lama*, di tipo specifico a seconda dell'organo di taglio, che tutela l'operatore dalla proiezione di piccoli sassi, frammenti di materiale reciso, etc.

Paragonando la lama ad un quadrante di orologio questa non deve venire a contatto con il legno nella zona compresa tra le ore 11 e le 14, per evitare i rischi da rimbalzo della lama (Figura 38), che causerebbero lesioni gravi agli arti inferiori dell'operatore.

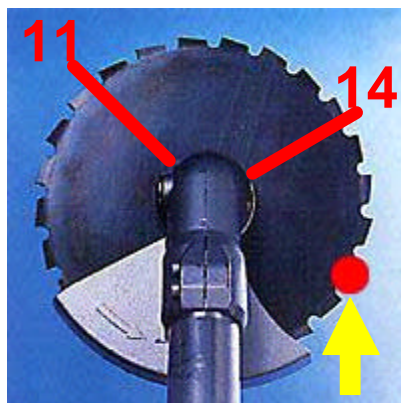



Figura 38 Area a rischio kick-back. Freccia in giallo → punto ideale dove eseguire il taglio

Durante le lavorazioni deve essere rispettata un'area di sicurezza con raggio di 15 m all'interno della quale non deve sostare alcuna persona. Ove è possibile, il taglio deve essere eseguito sempre verso valle poiché questa direzione consente all'operatore di tenere la macchina in posizione normale e corrispondente a quella del lavoro piano. Il taglio verso monte è ergonomicamente meno favorevole in quanto il decespugliatore deve essere continuamente sollevato. Per le altre norme di sicurezza confrontare quanto si è stato già descritto per la motosega[156].

5.3.3 Il catalizzatore

Il catalizzatore è integrato nel semicorpo inferiore del silenziatore di alcune motoseghe[157] e riduce attraverso una reazione chimica di post-combustione la quota di sostanze tossiche contenute nei gas di scarico. Come è stato accennato, queste sostanze sono principalmente idrocarburi incombusti e monossido di carbonio, mentre l'emissione di

[156] Confronta il Paragrafo 5.3.1
[157] Ad esempio le motoseghe STIHL serie "K"

ossidi di azoto per i motori a due tempi è trascurabile. Questo sistema oppone al gas di scarico una resistenza fluidodinamica inferiore rispetto a quello basato sulla ceramica, generalmente usato sugli autoveicoli. Di conseguenza le macchine con o senza catalizzatore forniscono pressoché la stessa potenza. Inoltre questo catalizzatore reagisce in un tempo relativamente breve di circa 20÷30s e resiste a temperature fino a 1300°C. La reazione di post-combustione dei gas di scarico crea nel silenziatore con catalizzatore una temperatura di circa 1200°C.

All’interno del catalizzatore si trovano sottilissime lamine in acciaio legato, alternativamente lisce ed ondulate, arrotolate a spirale assumendo nell’insieme un aspetto a nido d’ape. Esternamente le lamine sono racchiuse da un involucro cilindrico in acciaio.

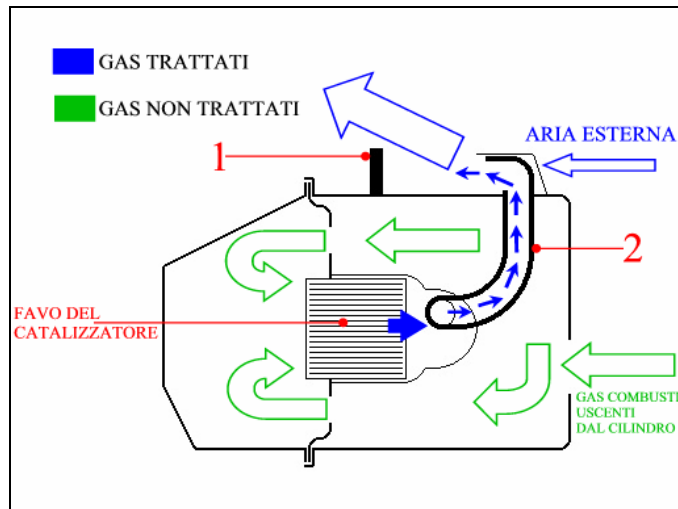
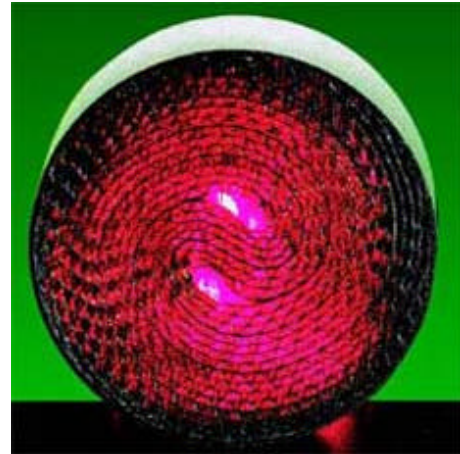
Per produrre l’effetto catalitico i favi sono rivestiti di platino; appena il catalizzatore viene attraversato dal gas di scarico, si innesca la reazione chimica che riduce le sostanze inquinanti contenuti nelle emissioni.

Circa il 70% degli idrocarburi (*HC*) vengono trasformati in acqua (H_2O) ed anidride carbonica (CO_2) secondo la seguente reazione (non bilanciata).

$$HC \xrightarrow{O_2 \quad dal \quad catalizzatore} CO_2 + H_2O$$

Equazione 17 Reazione del catalizzatore

Il catalizzatore è un componente che produce reazioni chimiche senza consumarsi. Il rivestimento in platino è sensibile al piombo, nel senso che questo vi si deposita impedendo in tal modo la reazione chimica. Pertanto dopo diversi rifornimenti con carburante contenente piombo l’effetto catalitico può ridursi di oltre il 50%; le macchine catalitiche devono perciò essere rifornite esclusivamente con carburante privo di piombo.

Se la struttura a nido d'ape presenta delle incrinature, oppure se l'involucro in acciaio che racchiude i favi è difettoso, occorre sostituire il catalizzatore per prevenire eventuali danni al gruppo motore.

Schema di funzionamento di un catalizzatore

Favo del catalizzatore in dotazione ad alcune motoseghe

I gas di scarico fuoriescono dal percorso interno del tubo (1) e vengono deviati obliquamente in avanti da un deflettore di lamiera (2) opportunamente sagomato. Contemporaneamente viene aspirata aria esterna per il raffreddamento

Figura 39 Catalizzatore per motori a due tempi

La forma speciale dello scarico consente la successiva immediata espansione di gas e quindi la temperatura dei gas in uscita viene di conseguenza abbassata a 300°C già a pochi centimetri dall'apertura dello scarico.

Capitolo 6. Materiali e metodi della sperimentazione

La seguente sperimentazione si propone di valutare sia le emissioni inquinanti emesse dalle attrezzature portatili alimentate con miscele ecologiche, sia il rischio di esposizione agli agenti tossici da parte del lavoratore, durante il loro l'effettivo utilizzo.

Pertanto le metodologie e i materiali impiegati nella sperimentazione sono sostanzialmente differenti a seconda dell'obiettivo proposto. Nel corso dei paragrafi successivi è data descrizione dei procedimenti utilizzati, distinti sulla base degli scopi.

6.1 Valutazione della conformità alla direttiva 2002/88/CE delle motoseghe alimentate con miscele ecologiche

Per questa indagine è stato utilizzato un modello di motosega scelto tra le attrezzature professionali disponibili sul mercato, e cioè avente delle caratteristiche tecniche che la collocano in un ambito di applicazione esclusivo del settore delle utilizzazioni forestali. Nel corso della sperimentazione[158] precedente, il numero di modelli di macchine impiegate era pari a 6, visto che ci si proponeva di confrontare le emissioni delle stesse, oltre alla verifica della conformità con i limiti proposti dalla ormai ben nota direttiva. Di seguito sono riportate le caratteristiche tecniche della macchina oggetto dei test, che secondo quanto riportato nella Tabella 14 (confronta il Paragrafo 4.9.1), appartiene alla *categoria SH:3*.

Per l'esecuzione delle prove ci si è avvalsi della consulenza tecnica e delle attrezzature messe a disposizione dal personale del laboratorio di "Macchine" del Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

---

[158] Bernini M, *Emissioni inquinanti dei motori endotermici utilizzati per motoseghe e decespugliatori: indagine sperimentale*

MODELLO	Cilindrata (cm^3)	Potenza (kW)	N°giri motore al minimo r.p.m.	N°giri motore al massimo r.p.m.	Capienza serbatoio cm^3	% olio nella miscela	Peso a secco senza barra e catena (kg)	catalizzatore
ALPINA P500	50,8	2,3	2700÷3000	11.800÷ 12.000	520 cm^3	4	4,9	No

Tabella 23 Caratteristiche tecniche della macchina testata

Il settore del laboratorio presso il quale sono state eseguite le prove per la valutazione delle emissioni è ripartito a sua volta in due ambienti: una *cella motore* dove sono collocati i motori da testare e una *camera di controllo* dove si trovano i pannelli di comando delle attrezzature presenti.

Queste due camere sono separate fra loro da una parete dotata di un'ampia vetrata che consente di verificare l'andamento dei test e da un portello di accesso a chiusura ermetica a doppia anta e con capacità tagliafuoco REI 120.

In questa camera stagna esiste inoltre un altro portello con le stesse caratteristiche del precedente ma di dimensioni minori che immette in un corridoio sul quale si affaccia uno stanzino per il deposito delle macchine da provare. Entrambi i portelli sono dotati di maniglie antipanico per consentire una veloce evacuazione in caso di pericolo.

Pur essendo presente all'interno della cella motore un sistema di aspirazione localizzata dei fumi di scarico, è tuttavia necessario durante l'esecuzione delle prove, di non sostarvi a lungo, al fine di evitare intossicazioni da CO, CO_2 etc. Comunque tutti i gas di scarico delle macchine da testare sono convogliati dai tubi di scappamento ad una canna fumaria attraverso un tubo convogliatore.

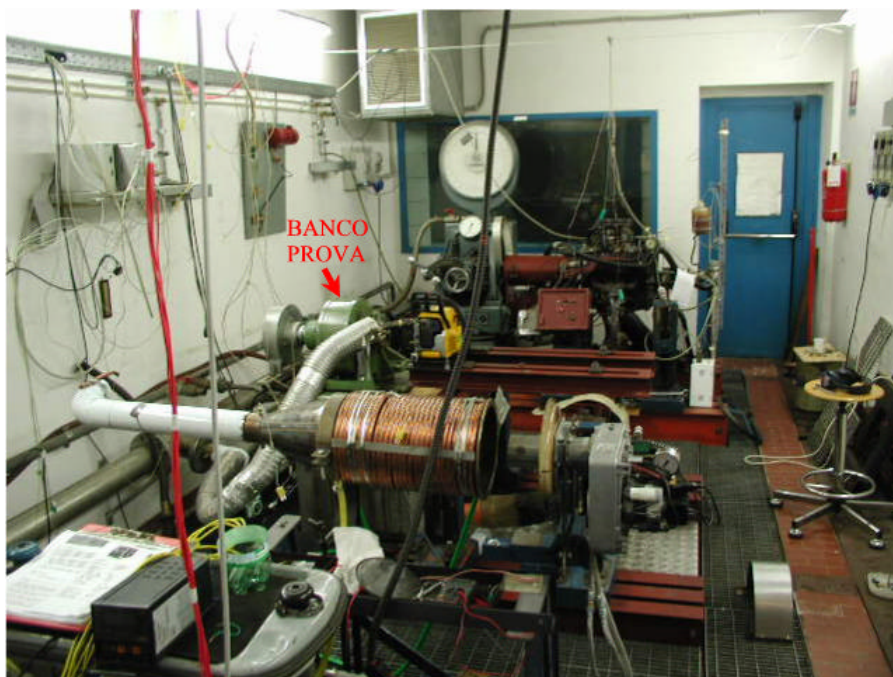



Figura 40 Cella motore

Figura 41 Camera di controllo

Tra il tubo convogliatore e l'uscita del silenziatore delle macchine viene inserito un innesto speciale di circa 25 cm di lunghezza (si veda più avanti) sul quale è praticato l'attacco per l'inserimento della sonda dell'analizzatore dei gas di scarico. Tutto questo

sistema è stato realizzato garantendo la totale assenza di sfiati che porterebbero ad una falsatura dei risultati a causa di contaminazione di aria esterna, oltre che a rischi per l'operatore che esegue il test.

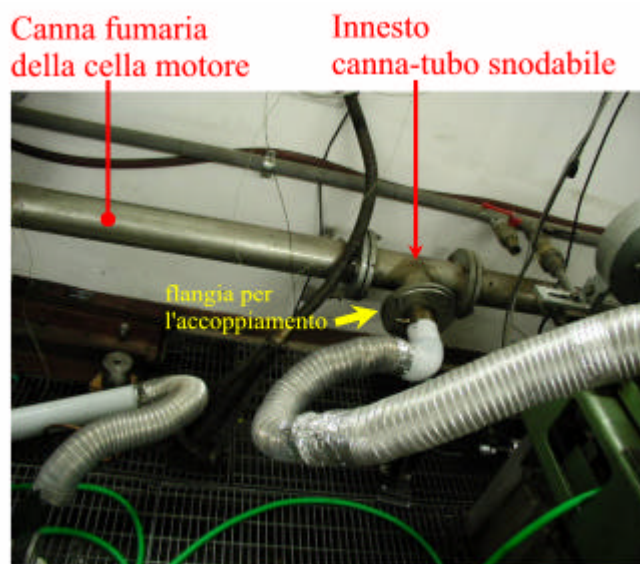



Figura 42 Impianto localizzato di aspirazione dei gas di scarico

La canna fumaria in questione consente una portata di 1000 m^3/h e corre parallela al muro, ad un livello più basso rispetto ai piani di lavoro dei banchi, e presenta tre derivazioni flangiate. Il collegamento con il tubo convogliatore avviene attraverso un tubo a gomito per stufe inserito sulla flangia centrale.

Il sistema di aspirazione è invece costituito da due griglie che si affacciano sul soffitto, una per l'immissione di aria fresca e l'altra, con aspiratore a due velocità, per l'espulsione dei gas nocivi. Sono necessarie due velocità per l'espulsione, poiché alla presenza di modeste produzioni di calore una velocità troppo alta di ricambio dell'aria rischierebbe di abbassare la temperatura invece di mantenerla costante; in questo modo sarebbero alterate le condizioni della prova. D'altro canto una velocità troppo bassa potrebbe essere insufficiente all'espulsione dei gas combusti.

Il quadro di comando del sistema di aspirazione nonché l'interruttore per l'accensione della pompa per l'acqua di raffreddamento del freno, sono ubicati nello stanzino di deposito di cui sopra. Nella cella motore si trovano 2 freni dinamometrici, uno a correnti parassite ed uno ad acqua, un armadio degli attrezzi tipo-officina, un compressore per l'aria ed altri materiali usati per le esercitazioni di laboratorio dei vari corsi universitari.

Nella camera di controllo sono ubicati i quadri di comando del freno dinamometrico e della bilancia del carburante per la valutazione dei consumi specifici che però non è stata utilizzata per le prove, in quanto la sua precisione non è tale da consentire una stima esatta del consumo del motore della motosega. Vi si trova inoltre un armadio speciale contenente i liquidi infiammabili (olio lubrificante, carburante ecc.), un bancone tipo-officina dove vengono effettuate le modifiche necessarie alle macchine prima delle prove, degli scaffali dove sono riposti materiali vari, un personal computer e l'analizzatore dei gas di scarico. Quest'ultimo viene collegato alla sonda attraverso un tubo in gomma lungo 8 m, che è fatto passare sotto il portello tagliafuoco.

L'isolamento acustico della cella motore è garantito da un'intercapedine realizzata nelle mura perimetrali al cui interno è stato inserito uno spesso strato di lana di roccia.

In caso di pericolo l'evacuazione è possibile attraverso la porta di ingresso ed una uscita di emergenza che immette nella facoltà di Ingegneria mentre l'impianto antincendio è costituito da un idrante a muro nella camera di controllo, collegato all'impianto che serve tutti i locali del dipartimento e da tre estintori a polvere, due nella cella motore ed uno in sala controllo.

Nel laboratorio di "Macchine" sono generalmente studiate diverse tipologie di motori che vanno dai motori ibridi, ai motori a combustione esterna, alle turbine a gas, ai motori a quattro tempi o diesel, etc., e pertanto le attrezzature presenti sono quindi adatte all'esecuzione di prove su queste tipologie di propulsori. Pertanto l'analisi dei fumi di

scarico delle motoseghe e dei decespugliatori, macchine aventi cioè motori di piccola cilindrata a due tempi e con elevato numero di giri, ha richiesto una serie di modifiche del banco di prova e la realizzazione di componenti speciali per l'accoppiamento di questi propulsori al freno Schenck, alla sonda dell'analizzatore Bosch nonché alla cappa aspirante dei fumi di scarico del laboratorio. Inoltre per la determinazione della portata massica del carburante (consumo in kg/h) alle varie modalità di prova è stato necessario realizzare un circuito di rifornimento disposto su un pannello.

6.1.1 Descrizione del banco di prova

Il *banco di prova* su cui sono state condotte i test, è costituito da un *freno dinamometrico a correnti parassite*[159], e da un *telaio regolabile* su cui si dispongono i motori da testare.

Il telaio è costituito da quattro colonne scorrevoli lungo le scanalature del basamento, che sono bloccate attraverso il serraggio di bulloni Ø 36 (36 mm). Nelle colonne si trovano le “viti senza fine” dove scorrono i supporti ai quali sono fissate le travi del piano di appoggio del telaio. Il sistema a vite senza fine consente di regolare il piano di appoggio per renderlo perfettamente orizzontale, oltre ad assicurare il perfetto allineamento tra l'albero motore della motosega, con l'asse di rotazione del rotore del freno. Prima di ogni prova queste condizioni sono assicurate nell'operazione denominata *rettifica del telaio di prova*. Per verificare che il piano di appoggio sia perfettamente orizzontale viene utilizzata una livella disposta sui quattro lati del piano. Per la registrazione si utilizza una chiave a volante che viene posta all'estremità delle viti senza fine di ciascuna colonna e che viene ruotata in senso orario o in senso antiorario fino a quando la bolla della livella posta nelle quattro posizioni di cui sopra non è centrata. Ovviamente durante questa operazione deve essere assicurato anche l'allineamento tra gli assi di rotazione del motore e del freno.

[159] Tutta la struttura della cella motore è stata realizzata in modo da resistere alle vibrazioni che si generano durante i test. Per tale ragione il *banco di prova* è ancorato su fondamenta di calcestruzzo ad una altezza da terra di circa 50 cm

Tra le due travi sono posizionati due trafilati a doppia "I" che possono traslare per consentire l'avvicinamento del motore al cardano del dinamometro. La motosega è fissata su questi trafilati attraverso dei bulloni con rondelle e la loro posizione può essere ulteriormente regolata dato che questi scorrono su delle scanalature praticate sui trafilati. Tutti i componenti del telaio regolabile sono realizzati in acciaio.

La motosega è ancorata al banco prova attraverso dei sostegni metallici denominati "*culle*" le cui caratteristiche tecniche verranno descritte nel paragrafo successivo (complesso *macchina-culla*).

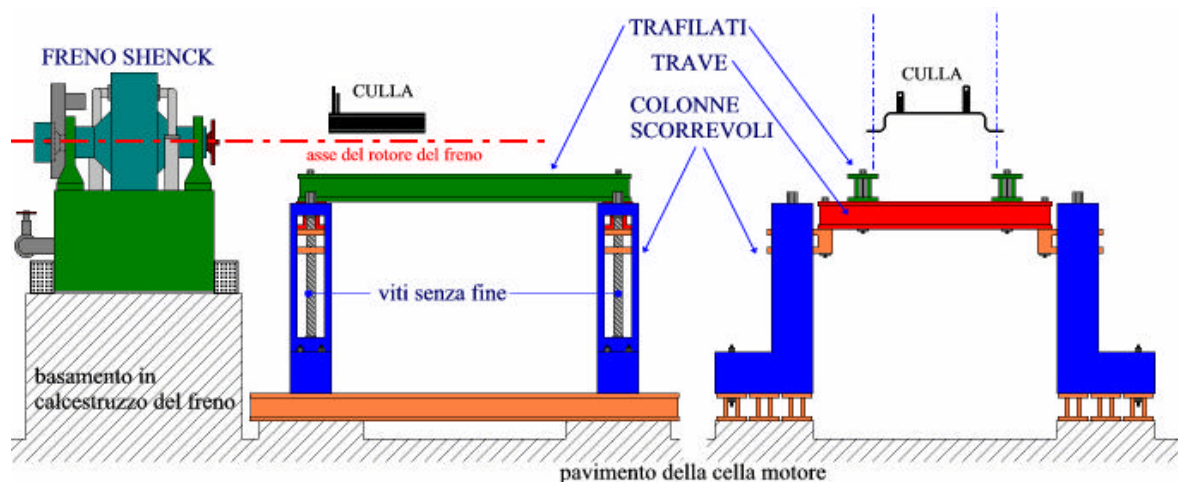



Figura 43 Caratteristiche del banco di prova

Per l'accoppiamento della macchina al freno dinamometrico è stato utilizzato un *giunto elastico per l'assorbimento di coppia*[160], in grado di assorbire le vibrazioni generate dal motore in prova. Questo sistema ha una lunghezza che non supera gli 8 cm circa, ed è formato da due mozzi interposti da un inserto in gomma; il primo mozzo viene imbullonato alla flangia del freno dinamometrico mentre il secondo è fissato sulla *campana speciale della frizione centrifuga* (Vedi paragrafo dopo).

---

[160] Anche detto Giunto *HRC* per *l'assorbimento di coppia*. Esso comprende due mozzi in acciaio con inserto in gomma nitrile standard. I picchi transitori dei carichi vengono ridotti per mezzo del componente flessibile, mentre le due unità gestiscono gli spostamenti accidentali paralleli, angolari e assiali degli alberi di collegamento. Il diametro è di 90 mm (Ø90), mentre la lunghezza del giunto assemblato è di 28 mm.

6.1.1.1 Altri componenti speciali

Gli altri elementi che garantiscono il perfetto collegamento della macchina al *banco di prova* e alla flangia del freno dinamometrico, sono le *culle per i motori* e le *campane speciali per la frizione centrifuga*.

Le *culle* sono sostegni speciali che servono ad ancorare le motoseghe al telaio regolabile del banco di prova. Questi sostegni sono costituiti da una lastra di metallo di dimensioni 25 × 40cm e con spessore di 1,5 mm, sulla quale sono stati saldati dei supporti attraverso i quali sono inserite le viti che consentono l'ancoraggio della macchina. Queste viti di fissaggio sfruttano le sedi di alcune viti presenti sullo chassis delle macchine. Ad esempio la motosega Alpina P500 è stata fissata alla culla attraverso 3 viti; due che sfruttano la sede delle viti TC 5 × 23 autofilettanti del maniglione (una laterale ed una inferiore), e un'altra fissata nella sede della vite di ancoraggio della barra (vite tipo TX M 5 × 18).

Figura 44 Macchina disposta sulla culla e pronta per essere collocata sul banco di prova

Una volta che la motosega è solidale alla "culla", viene fissata alle scanalature dei trafilati a doppia I del telaio regolabile del banco, attraverso 4 bulloni con rondella passanti in altrettanti fori praticati ai lati della piastra.

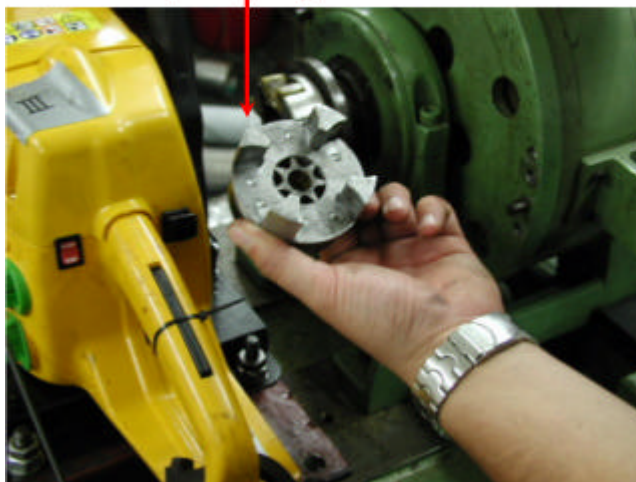



Figura 45 Campana per la frizione centrifuga

La *campana per la frizione centrifuga* in dotazione alla motosega ha forma cilindrica con diametro di 70 mm, una altezza di 3 cm e presenta alla base un foro centrale per consentire il passaggio del perno della frizione, ed è realizzata in acciaio presso-fuso. Per poterla fissare alla flangia del *giunto per l'assorbimento di coppia*, sono stati praticati quattro coppie di fori diametralmente opposti, attraverso i quali sono inseriti i rivetti per il fissaggio al mozzo del giunto.

6.1.1.2 Il circuito del carburante

Per il calcolo dell'emissione specifica, la direttiva richieda la valutazione del consumo specifico (g/kWh) alle varie modalità di prova[161], e per questo è stato utilizzato un apposito *circuito del carburante* per l'alimentazione del motore della motosega. E' costituito da un pannello rettangolare 50×60cm sul quale sono stati fissati un serbatoio da 2l e una buretta graduata da 25cm^3, collegati tra loro da un sistema di tubicini in gomma Ø4 con 2 rubinetti e un connettore a "T". Da quest'ultimo diparte un altro tubicino diretto al carburatore della motosega. Il sistema durante le prove è appeso alla parete della cella motore vicino al freno dinamometrico mentre durante il rifornimento è collocato a terra.

[161] Confronta i Paragrafi 4.8.3 e 4.8.4

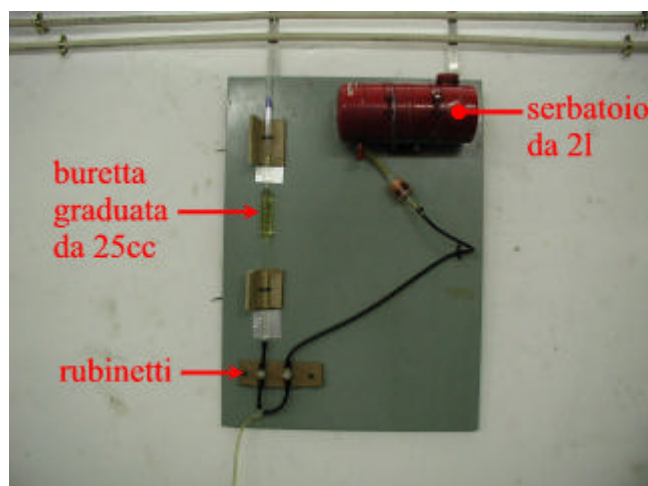



Figura 46 Circuito del carburante per la valutazione dei consumi specifici

Per la stima del consumo specifico, è necessario da prima riempire la buretta graduata. Questa operazione si esegue aprendo contemporaneamente entrambi i rubinetti in modo che il carburante fluisca dal serbatoio alla buretta e poi a tutto il circuito fino al carburatore della macchina. Una volta che tutto il sistema è stato riempito viene chiuso il rubinetto che blocca l'emissione del carburante dal serbatoio e si lascia aperto l'altro. In questo modo una volta avviata la macchina, il carburante che viene consumato è quello contenuto nella buretta graduata. Quest'ultima presenta due tacche, una superiore ed una inferiore, che delimitano un volume di 25cm^3. Dotandosi di un cronometro si misura il tempo necessario al menisco formato dalla miscela sulle pareti della buretta, per passare dalla tacca superiore alla tacca inferiore. Questa misura rappresenta appunto il consumo specifico o meglio la quantità di carburante (espressa in grammi) consumata nell'unità di tempo (ore) ad un dato regime (numero di giri al minuto) e quindi ad una certa potenza (kW). La potenza ad un certo regime nonché il numero di giri, sono grandezze che vengono calcolate sperimentalmente con il freno dinamometrico Schenck.

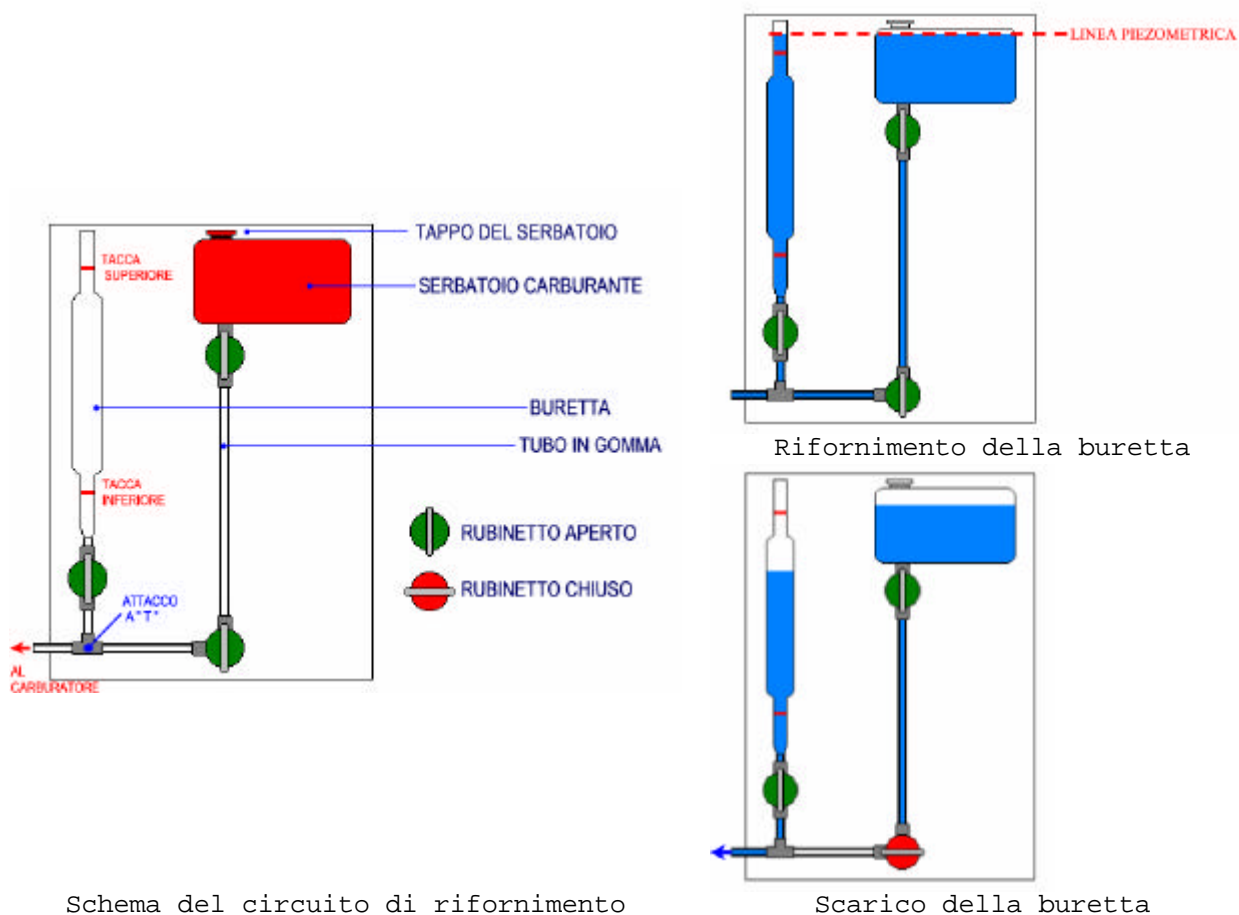



Figura 47 Schema di funzionamento del sistema di rifornimento

6.1.1.3 Raccordo per l’aspirazione dei gas di scarico

Il *raccordo speciale per l’aspirazione dei gas di scarico* collega il foro di uscita dei gas combusti delle macchine con la cappa di aspirazione della cella motore, ma consente anche l’inserimento della sonda dell’analizzatore Bosch. E’caratterizzato da un tubo snodabile (Ø 100), all’interno del quale è inserito l’innesto speciale che porta una derivazione ad “Y” per il collegamento all’analizzatore. Nella figura che segue è rappresentato lo schema di funzionamento di quest’ultimo. L’innesto speciale è accoppiato ad un adattatore saldato sul foro di uscita del silenziatore. L’innesto è del tipo femmina-maschio.

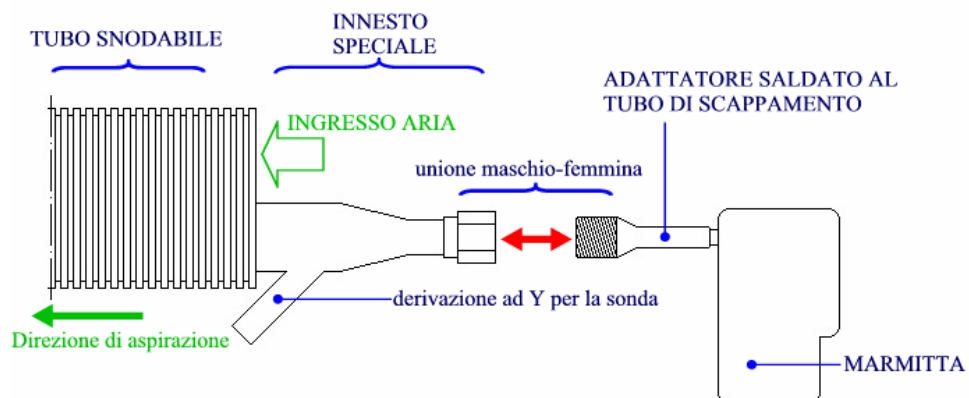



Figura 48 Schema del raccordo per l'aspirazione dei gas

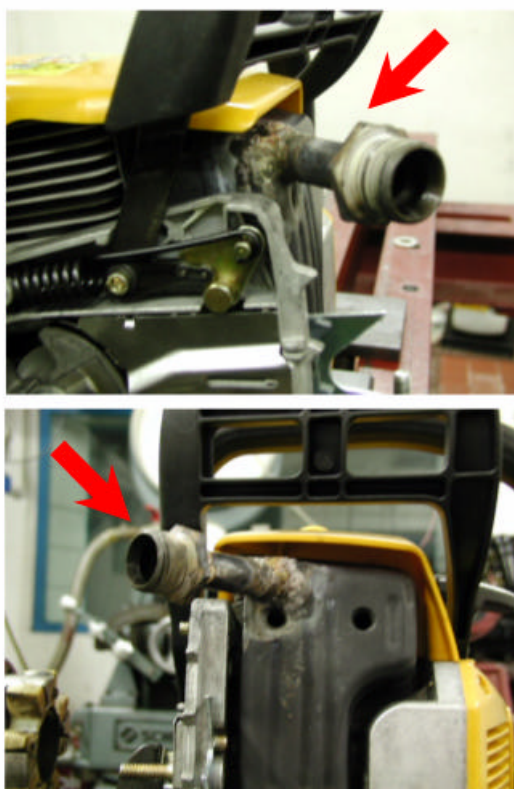



Figura 49 Adattatore saldato sul silenziatore della motosega

6.1.1.4 Carter di protezione

E'stato realizzato un *carter di protezione* allo scopo di proteggere gli operatori da eventuali corpi lanciati dalle masse in rotazione del sistema di collegamento macchina-freno. Si compone di una lastra in acciaio inox 50×12cm alle cui estremità sono imbullonati due sagomati ad "L" in ferro, fissati poi al telaio regolabile con altri due bulloni.

6.1.2 Freno SCHENCK a correnti parassite W 40

Un motore posto su un banco di prova può erogare potenza soltanto se è presente un dispositivo in grado di assorbirla: il freno[162]. La potenza di un motore, o meglio, la rapidità con cui viene compiuto un certo lavoro, è calcolata con la formula di seguito riportata.

$$C_m - C_r = \frac{d\,w}{d\,t} \times I$$

$$P = C \times ? \quad (kW)$$

dove:
C è la coppia (N × m);
P è la potenza (kW);
? è la velocità angolare (rad/s) che in funzione del numero di giri viene così calcolata:

$$w = 2pf = \frac{2\,p\,\,n}{60}$$

n rappresenta il numero di giri al minuto (r.p.m.).
I rappresenta il momento d'inerzia;
C_m è il valore di coppia motrice (Nm);
C_r rappresenta il valore di coppia resistente applicata con il freno dinamometrico(Nm);
d? / dt è l'accelerazione angolare nel tempo.

Equazione 18 Valutazione della Coppia Motrice e calcolo della Potenza

Pertanto la curva caratteristica di coppia di un motore viene calcolata empiricamente portando il motore al numero di giri massimo (tutta manetta) e applicando con il freno delle

[162] Confronta i Paragrafi 2.2 e 2.2.1

coppie resistenti via via crescenti, aspettando che il numero di giri sia costante. Infatti con n = cost, l'equazione precedente diventa (Equazione 19):

$$C_m - C_r = 0$$

Equazione 19

dato che *d? / dt* con *n* = cost è uguale a zero (cioè la velocità angolare rimane costante nel tempo). Avremo perciò che l'Equazione 19 muta nella Equazione 20.

$$C_m = C_r$$

Equazione 20

In queste condizioni di regime la coppia resistente applicata corrisponde alla coppia motrice. Una volta calcolata la coppia *C* oltre a derivare la curva della potenza è possibile valutare anche l'andamento del consumo specifico C_S (spesa energetica per ottenere l'unità di energia erogata che viene espressa in g/kWh) che decresce con l'aumentare del carico e presenta un minimo tra il regime di potenza massima ed il regime di coppia massima. La formula che ci consente di calcolare il consumo specifico è la numero 21.

$$C_S = \frac{C_{(t)}}{L_{(t)}}$$

dove:
C_S rappresenta il consumo specifico (g/kWh);
$C_{(t)}$ rappresenta il consumo misurato nel tempo *t* della prova;
$L_{(t)}$ rappresenta il lavoro compiuto dalla macchina in tale di tempo, che viene determinato in funzione della potenza, in base alla formula:

$$L = P \times t \quad [kWh]$$

dove:
L è il lavoro compiuto dalla macchina nell'unità di tempo;
P é la potenza della macchina (kW);
t rappresenta il tempo di prova (h).

Equazione 21

Quindi nel corso dell'analisi dei gas di scarico l'impiego di un freno dinamometrico si è reso necessario per caratterizzare il motore testato, ottenendo le tre curve

caratteristiche, coppia motrice, potenza e consumo specifico, e per determinare il carico percentuale. Infatti la Direttiva 2002/88/CE, impone che le analisi dei gas di scarico, sia eseguita con motore con motore al regime nominale con il 100% del carico applicato e al minimo e senza carico applicato. Per poter applicare questo carico è necessario appunto disporre di un freno dinamometrico[163].

Nell'analisi dei gas di scarico al regime nominale, la motosega è accelerata al massimo numero di giri (tutta manetta) e successivamente gli viene applicato un carico che stabilizza il numero di giri ad un valore a cui corrisponde la potenza massima espletata.

6.1.2.1 Caratteristiche tecniche del freno SCHENCK

Il freno Schenck W40 è un freno a correnti parassite per misure di potenza che dissipa l'energia meccanica del motore in prova in calore attraverso l'energia elettrica. Il calore viene poi eliminato dall'acqua di raffreddamento che non esercita però azione frenante a differenza di quanto accade sull'altro modello di freno Schenck (freno idraulico) presente nella cella motore. Il freno si compone principalmente di quattro parti:

1. la carcassa o statore, nella quale è alloggiato il rotore;
2. il telaio, sul quale è fissata la carcassa del freno;
3. il dispositivo di misura della forza (cella di carico), fissato sul telaio;
4. l'apparecchio di comando, che assieme all'output analogico del dispositivo di misura della forza è posto nel "quadro Schenck" della camera di controllo.

[163] Confronta il Paragrafo 4.8.3

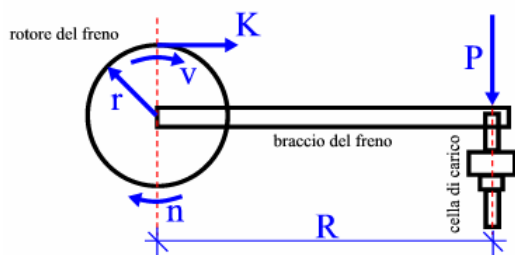



Figura 50 Principio di funzionamento del freno SCHENCK

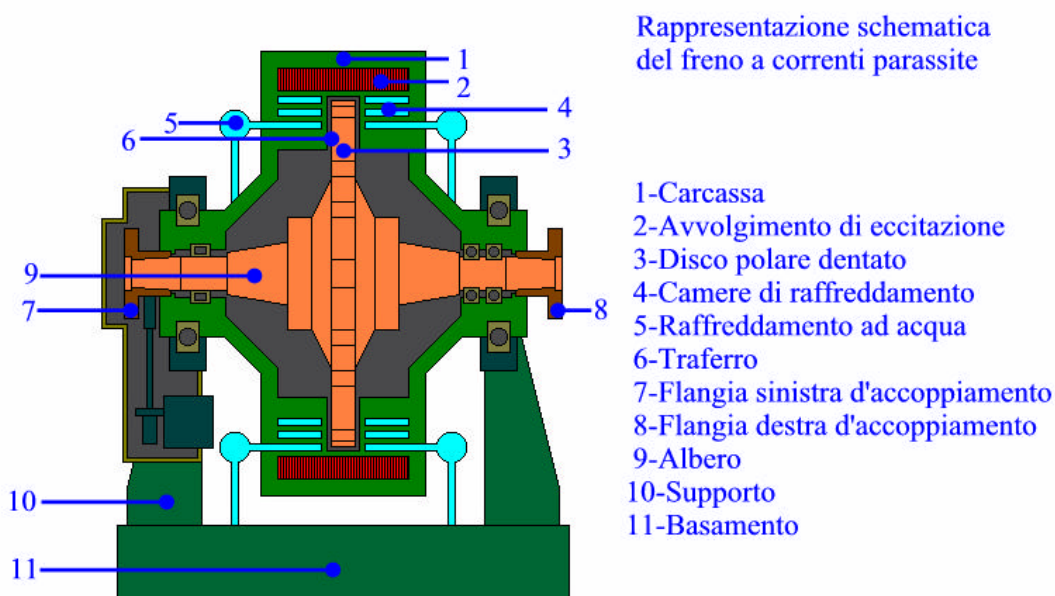



Figura 51 Elementi costitutivi del freno SCHENCK

Il rotore è costituito da due semialberi e da un disco polare che ha una dentatura stellare e ruota entro il campo magnetico di una bobina eccitata con corrente continua.

Il disco polare ruota tra le camere di raffreddamento fisse entro il campo magnetico generato da una bobina eccitata con corrente continua le cui spire sono coassiali all'asse del freno. Il campo magnetico prodotto da questo avvolgimento è quindi toroidale.

Data la configurazione del rotore, si hanno delle concentrazioni di flusso magnetico in corrispondenza dei denti e pertanto, quando esso ruota, le zone degli anelli dello statore che in un certo istante sono opposte ai denti oppure comprese tra due denti del rotore, vengono alternativamente magnetizzate e smagnetizzate. Si generano pertanto sulla superficie delle camere di raffreddamento delle correnti di Foucalt (correnti parassite) che dissipano in calore per effetto Joule l'energia fornita al freno dal motore termico; il calore generato è asportato da una corrente d'acqua.

L'acqua di raffreddamento circola in un circuito chiuso di cui fa parte anche il freno ed è mossa da una pompa che si trova sotto le grate della cella. All'uscita dalle camere statoriche essa viene raccolta in un bacino, dal quale viene poi convogliata in uno scambiatore aria-acqua posizionato all'esterno dell'edificio. Qui viene raffreddata e di nuovo immessa in circolo. I campi magnetici indotti dalle correnti parassite si oppongono al movimento di rotazione.

La rotazione della carcassa (statore) viene impedita da una leva ad essa solidale, vincolata ad un dispositivo dinamometrico a cella di carico. Il momento torcente frenato viene indicato sotto forma di forza in rapporto ad un determinato braccio di leva.

Potenza massima dissipabile	40 kW
Regime di rotazione massimo	17.000 giri/min
Braccio della cella di carico	0,358 m
Massimo momento torcente	75 Nm
Massimo disassamento tollerabile	1 mm (2 mm all'avvio)

Tabella 24 Caratteristiche tecniche del freno SCHENCK

Il freno è equipaggiato per il collegamento a tensione alternata monofase 220 V, 50 Hz o 60 Hz rispettivamente 12 A, ma può funzionare anche con tensioni comprese tra 205 V e 235 V. Altri valori di tensione necessitano di un trasformatore opportuno.

Le altre parti salienti del freno sono il *trasduttore di coppia-forza*, che misura il carico frenante applicato ed il *rilevatore di numero di giri*.

6.1.2.2 Trasduttore di coppia-forza

Come precedentemente accennato per la misura della coppia erogata dal motore viene impiegata una cella di carico. Il principio su cui si basa questo trasduttore è di tipo estensimetrico; tramite una misura di deformazione di un dato corpo e dalla conoscenza del suo modulo elastico, determiniamo il suo stato di sollecitazione. Il trasduttore utilizzato è la cella di carico U2A prodotta dalla HBM. Il trasduttore è una molla di misura realizzata in acciaio a cui sono applicati otto estensimetri. L’elemento di misura è la parte superiore dell’involucro del trasduttore. Gli estensimetri sono disposti in modo tale che quattro di loro rilevano gli sforzi positivi e quattro gli sforzi negativi se la molla è caricata nella direzione della misura. La cella di carico è dotata di un circuito a ponte con tutte le resistenze di correzione e compensazione, che sono utilizzate per sopprimere eventuali influenze sul segnale di zero, sulla sensibilità e sulla caratteristica. La forza che agisce lungo la direzione di misura deforma flessibilmente l’elemento di misura e quindi gli estensimetri variano la loro resistenza ohmica proporzionalmente alla loro variazione di lunghezza. In questo modo si genera una squilibrio nel circuito di misura a ponte di Wheatstone.

Quando al ponte viene applicata una corrente di eccitazione il circuito fornisce una differenza di potenziale proporzionale alla variazione di resistenza dei suoi elementi e quindi alla forza applicata all’elemento sensibile. Sollecitazioni di torsione, flessione e carichi concentrati influenzano negativamente la cella e, pertanto, devono essere evitati.

Gli effetti della temperatura sul bilanciamento dello zero e sulla sensibilità sono compensati. I cambiamenti della pressione ambiente agiscono come un carico addizionale tuttavia queste variazioni sono poco apprezzabili nel caso di grandi carichi nominali. Per conseguire i migliori risultati nelle misure deve essere rispettato il campo nominale di temperature; le migliori condizioni sono quelle in cui le temperature si mantengono costanti o debolmente variabili. Gradienti di temperatura indotti nel trasduttore da riscaldamento o raffreddamento su di un lato inducono rilevanti errori di misura. La

pressione ambiente dovrebbe essere compresa fra 0 e 5bar e si nota come la variazione di tale pressione può provocare una deriva dello zero.

6.1.2.3 Rilevatore del numero di giri

Il misuratore del numero di giri consiste in una ruota con 60 denti posta all'estremità dell'albero del freno ed in un rilevatore di numero di giri. Gli impulsi del rilevatore sono trasmessi tramite un convertitore della tensione ad impulso, ad uno strumento analogico e digitale del quadro di comando del freno. L'altra estremità dell'albero del freno è invece dotata di una flangia per il collegamento dell'albero del motore in prova.

6.1.2.4 Pannello di comando

Tutte le apparecchiature di controllo e di comando del freno a correnti parassite sono contenute nell'armadio Schenck collocato nell'anticamera della cella motore. Tali apparecchiature sono:

- Apparecchio di comando Schenck LSG 24/18;
- Contatore universale Schenck LUZ 11/36;
- Amplificatore della cella di carico;
- Indicatore analogico a bobina mobile HBM GA 03/411.

Il dispositivo di comando LSG 24/18 è dotato di due indicatori del numero di giri, di pulsanti per la selezione del tipo di curva caratteristica con cui frenare il motore e di un potenziometro per la variazione del valore della suddetta coppia.

Le condizioni di funzionamento del freno sono caratterizzate dal momento torcente e dal numero di giri. Il funzionamento del banco prova è stabile quando la pendenza della curva caratteristica del freno, per il numero di giri prescelto, è maggiore di quella del motore.

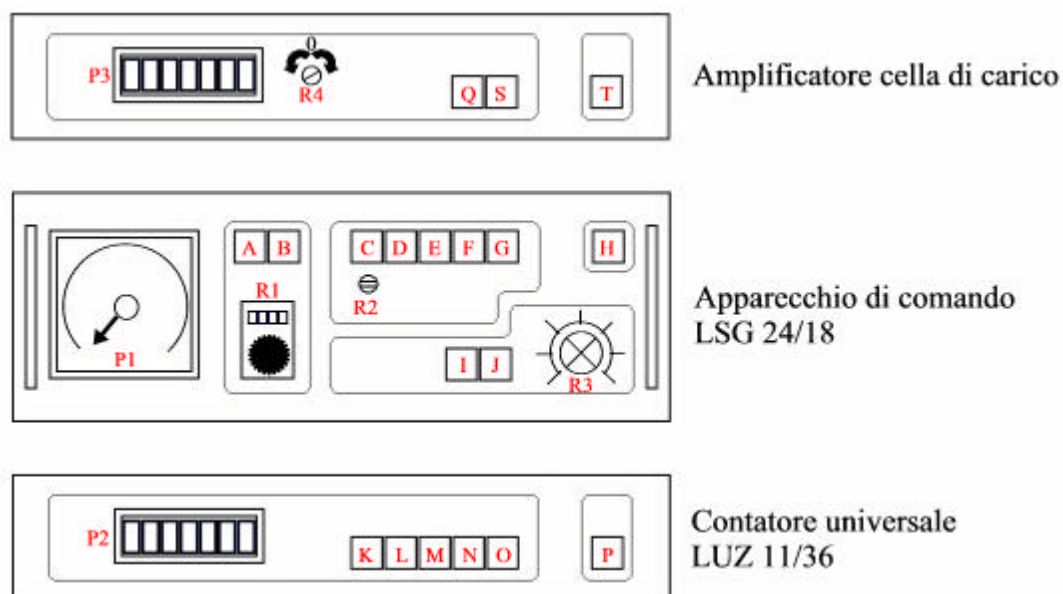
Ad ogni posizione degli elementi di regolazione del motore (valvola a farfalla) e del freno (potenziometro del valore pilota), deve corrispondere una ben precisa curva caratteristica “momento torcente/numero di giri”.

Serie dei tasti:
A. Potenziometro interno del valore pilota
Comando tramite valore pilota esterno
C,D,E,F,G. Tipi di curve caratteristiche
H,P,T. Inserimento e disinserimento rete
J. Fuori giri con cancellazione
K,L,M,N,O. Tipi di misurazione (n. giri, cronometro, velocità media ecc.)
Q,S. commutazione del campo di misura
Serie delle spie luminose:
Luce verde pronto a funzionare
(Tutti i tasti di cui sopra sono trasparenti e dotati di spia luminosa bianca o rossa indicante il funzionamento)
Serie dei potenziometri:
R1. Quantità di carico applicato con contatore
R2. Pendenza della curva caratteristica
R3. Numero di giri massimo
R4. Amplificatore di misura dello zero
Serie degli indicatori:
P1. Indicatore analogico del numero di giri
P2. Indicatore digitale del numero di giri
P3. Indicatore digitale del carico

Figura 52 Pannello di comando e di controllo del Freno SCHENCK

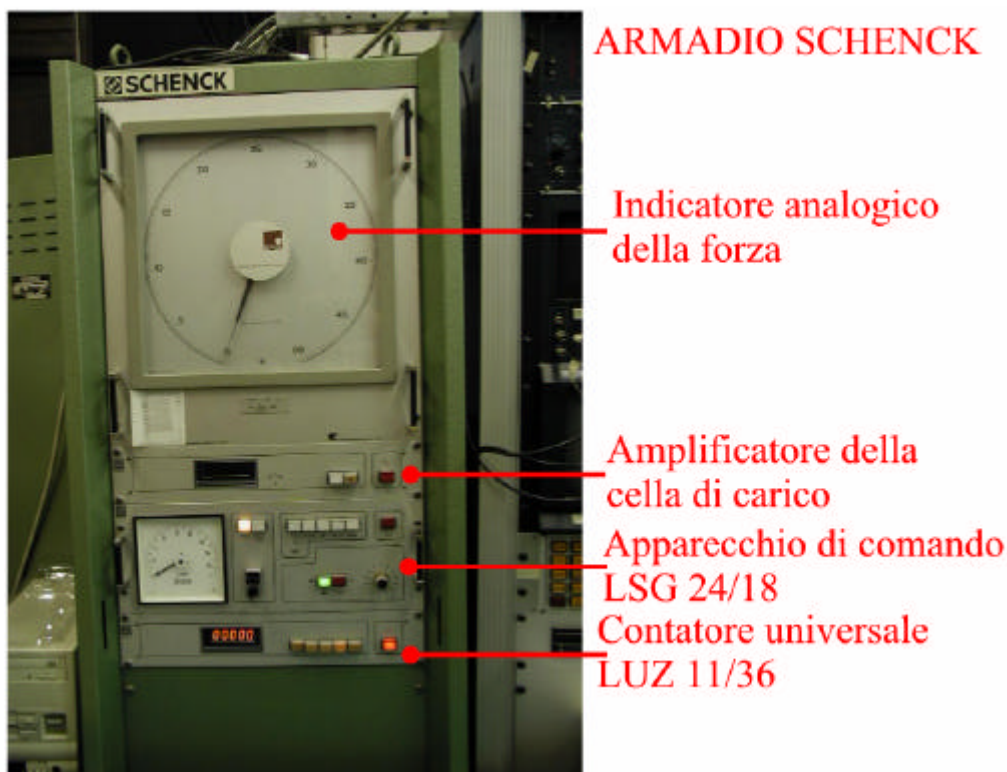



Figura 53 Armadio di comando del freno

La corrente continua necessaria per l'eccitazione del freno è fornita dall'apparecchio di comando. Al fine di avere punti di funzionamento stabili a seconda del tipo di motore in prova, si possono preselezionare, azionando gli appositi pulsanti(C,D,E,F,G), le seguenti curve caratteristiche del freno o modalità di funzionamento (Figura 54):

1. Pilotaggio dell'intensità di corrente in posizione "M" (tasto E): la corrente di eccitazione fornita dall'apparecchio di comando è indipendente dal numero di giri del freno. Ciò rende possibile un servizio stabile per tutti i tipi di motori elettrici e per quelle macchine alternative che sono equipaggiate con un regolatore di velocità. Per le analisi dei gas di scarico della motosega Alpina P500, si è selezionata questa modalità;

2. Regolazione con curva caratteristica ripida in posizione "N" (tasto C): la corrente di eccitazione fornita dall'apparecchio di comando dipende dal numero di giri del freno. Quasi tutte le macchine alternative possono essere frenate perfettamente.

La curva caratteristica può essere regolata sulla gamma di velocità richiesta e la sua pendenza può essere variata;

3. Regolazione con numero di giri costante in posizione n = cost (tasto D): per mezzo di un controllore PID si ottiene un'elevata dinamica di regolazione. Il regolatore influisce sulla corrente di eccitazione del freno tramite l'apparecchio di comando, in modo da mantenere pressoché costante il numero di giri, indipendentemente dal carico esercitato dal motore in prova sul freno. La differenza del numero di giri tra marcia a vuoto e momento torcente massimo del freno, è inferiore a ± 10giri/min;

4. Regolazione con curva caratteristica all'incirca quadratica $M \cong n^2$ (tasto F): eccitando il freno con una corrente proporzionale al numero di giri si ha una curva caratteristica all'incirca quadratica. Il comportamento del momento torcente è analogo a quello della resistenza dell'aria di un veicolo su strada;

5. Tipo di funzionamento esterno (tasto G): l'eccitazione del freno può essere comandata soltanto mediante circuiti di regolazione esterni, ad esempio mediante un dispositivo di regolazione del momento torcente.

Curva caratteristica frenante in posizione "n"

Curva caratteristica del freno a "momento costante"

Curva caratteristica "quadratica"

Curva caratteristica a "giri costanti"

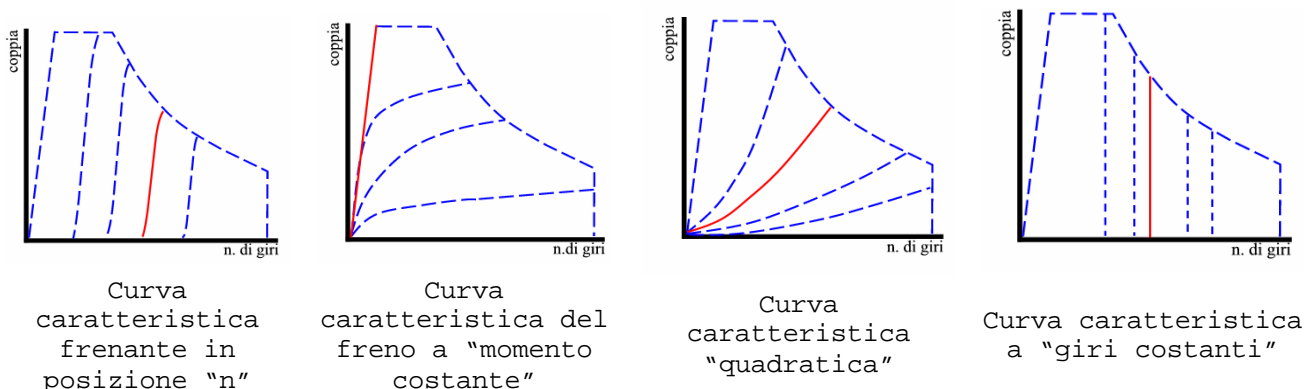



Figura 54 Curve caratteristiche selezionabili

Al contatore universale LUZ 11/36, giunge il segnale proveniente dal trasduttore di velocità, ha principalmente il compito di contare gli impulsi rilevati e quindi fornire, su di un

display digitale (P2), il valore della velocità istantanea del motore. Inoltre, può indicare anche la velocità media e funzionare da cronometro.

L'ultimo rack dell'armadio Schenck è la centralina per la cella di carico. Essa è costituita da un circuito stampato che compie le seguenti funzioni:

1. alimentazione degli estensimetri della cella di carico;
2. conversione del segnale di resistenza in un segnale in tensione tramite ponte di Wheatstone;
3. amplificazione del segnale in tensione;
4. possibilità di regolazione della sensitività elettrica della cella di carico;
5. regolazione del bilanciamento del ponte e dell'offset dell'amplificatore;
6. filtraggio del segnale;
7. possibilità di variazione del campo di misura.

L'ultimo dispositivo presente sul pannello di comando è l'indicatore analogico delle forze (Figura 53) che è un classico strumento a bobina mobile. L'indicatore è controreazionato con un potenziometro di precisione e la sua risoluzione è molto elevata. Lo zero e la sensibilità dello strumento sono regolati in fabbrica e non necessitano d'aggiustamenti per un periodo molto lungo. E' possibile regolare lo zero sia all'inizio della scala che a metà, secondo la misura che si deve effettuare.

Qualora venga superato il numero di giri massimo del freno, che viene regolato nel potenziometro collocato sul quadro di comando, entra in azione un contatto di sicurezza che disinserisce il motore in prova. Contemporaneamente si accenderà la lampadina rossa del quadro di comando. Un altro dispositivo di sicurezza blocca il freno qualora si interrompa il flusso dell'acqua di raffreddamento attraverso il bocchettone. Sulla tubazione

è infatti collocato un avvisatore di portata che chiude il circuito solo quando passa l'acqua di raffreddamento.

Esistono poi altri dispositivi di sicurezza che consentono di bloccare il freno in caso di mancanza di corrente oppure in presenza di altri disturbi (il contatto di sicurezza può essere azionato anche manualmente). Anche l'involucro protettivo del giunto cardanico che collega la flangia di accoppiamento del freno con la flangia di accoppiamento, fa parte dei sistemi di protezione collettiva.

6.1.2.5 Taratura del freno dinamometrico

Prima della messa in servizio del freno dinamometrico è necessario verificare la taratura eseguendo tre operazioni. Per questa verifica è stato necessario disporre di un voltometro digitale con ampiezza di misura 0÷10000 V e degli schemi di circuito n°270026 e n°270030 disponibili nel manuale di uso e manutenzione dello Schenck.

La prima, consiste nella misurazione della tensione nelle diverse uscite dei dispositivi del freno e dei morsetti, presenti nel retro dell'armadio che alloggia il quadro di comando dello Schenck. Tali valori devono corrispondere con quelli riportati[164] nel libretto di uso e manutenzione. Per la misura della tensione elettrica si può adoperare un comune voltometro. Nel caso in cui le ci siano delle differenze, la correzione viene effettuata agendo con un cacciavite sulle viti potenziometriche di ogni dispositivo collocato dietro l'armadio, fino a quando la differenza di potenziale misurata con il voltometro non corrisponde a quella riportata.

La seconda operazione consiste nella taratura dello zero dell'indicatore analogico del carico applicato (o indicatore della bilancia). Si agisce pertanto con un piccolo cacciavite sul potenziometro *offset* disposto sotto l'indicatore e ruotando delicatamente in senso

---

[164] Paragrafo M 6008 del libretto di uso e manutenzione del freno SCHENCK

orario o antiorario, cercando di portare la lancetta il più vicino possibile alla tacca dello zero.

Infine la terza operazione di calibrazione, prevede il montaggio sullo statore del freno di una leva di taratura per il raggiungimento dell'equilibrio statico. Essa consta di due bracci alle cui estremità sono collocati dei piatti portapeso sopra i quali sono disposti delle masse. Nel nostro modello di freno la distanza tra l'estremità di ogni singolo braccio e l'asse del rotore del freno è di 974 mm. Dopo il montaggio della bilancia si è cercato di colmare ogni squilibrio della leva collocando dei pesi di pochi grammi nei piatti di cui sopra, fino a quando la lancetta dell'indicatore del carico applicato non si fosse disposta sopra lo zero; ciò corrisponde al raggiungimento dell'equilibrio statico. Successivamente, in modo alternato, prima nel piatto numero 1 e poi nel piatto numero 2, si sono aggiunti in progressione dei pesi via via maggiori fino a quando l'indicatore di carico ha raggiunto il fondo scala di 50N. Confrontando i valori letti sull'indicatore della bilancia durante il caricamento del primo piatto (direzione di compressione), con quelli ottenuti durante il caricamento del secondo piatto (direzione di trazione), è stato possibile valutarne lo scostamento e quindi il grado di precisione. Un eventuale scostamento è corretto con l'azione sulla vite di rettifica del quadrante analogico.

6.1.2.6 Messa in servizio del freno SCHENCK

Di seguito sono riportate punto per punto, tutte le operazioni da compiere per mettere in funzione il freno dinamometrico e che sono state osservate nel corso della sperimentazione. Esse comprendono:

1. Verifica dell'azzeramento del dispositivo dinamometrico;
2. Collegamento del motore al freno ed al circuito di sicurezza;
3. Disposizione dei selettori A e B del pannello di comando LSG 24/18 secondo il tipo di servizio richiesto (durante le nostre analisi è stato selezionato "A");

4. Inserimento degli interruttori di rete H,P e T dei pannello di comando LSG 24/18, LUZ 11,36 e dell'amplificatore della cella di carico fino alla posizione di arresto;

5. Regolazione del numero di giri richiesto sul potenziometro R3 del pannello di comando.La percentuale del numero di giri da selezionare per ogni modalità di prova viene calcolata in base all'Equazione 22;

$$regolazione(\%) = \frac{n.giri\ massimo\ macchina}{n.giri\ massimo\ \ freno} \times 100$$

```
Dove:
il numero di giri massimo del freno è 17000giri al
minuto
```

Equazione 22

6. Scelta della curva caratteristica richiesta sui tasti di selezione C,D,E,F e G del pannello di comando. Come gia menzionato, nel corso delle nostre analisi è stato selezionato il tasto E corrispondente alla posizione M;

7. Apertura progressiva della valvola di efflusso d'acqua;

8. Avviamento del motore di prova;

9. Calcolo della potenza *P* in base al numero di giri.

10. Per le analisi dei gas di scarico delle motoseghe e del decespugliatore, viene inserito inoltre il tasto "K" del contatore universale (corrispondente alla modalità numero di giri/min sul display) ed il tasto S dell'amplificatore della cella di carico.

6.1.3 Analizzatore per i gas di scarico

L'analizzatore per i gas di scarico è il Bosch BEA 350 con DTM Plus. Trattasi di un sistema di misurazione trasportabile a struttura modulare per l'analisi dei gas di scarico di veicoli con motore a ciclo Otto e Diesel la cui precisione di misura secondo OIML R99 è di classe 0.

6.1.3.1 Caratteristiche tecniche dell'analizzatore BOSCH BEA DTM Plus

L'acronimo DTM indica la presenza del modulo numero di giri-temperatura cioè di un sistema che consente di avere le funzioni di misurazione della temperatura dell'olio, attraverso un sensore di temperatura (per i motori a due tempi è inutilizzata), di misurazione del numero di giri, della tensione della sonda lambda, dell'angolo di chiusura e di accensione, di valutazione dell'inizio mandata e di misurazione del numero di giri attraverso un trasduttore.

Figura 55 L'analizzatore per i gas di scarico

L'analisi dei gas di scarico avviene attraverso il modulo di misura AMM che consente di misurare le concentrazioni dei seguenti componenti dei gas di scarico: CO, HC, CO_2 e NO_X. Il valore lambda (*?*) viene calcolato dai valori dei gas rilevati. I campi di misura del modulo sono riportati nella Tabella 25. Per la misurazione dei contenuti di CO, CO_2 e HC viene adoperato il metodo non dispersivo a raggi infrarossi (NDIR - Spettroscopia non dispersiva a raggi infrarossi). La quantità di ossigeno viene rilevata mediante un sensore a funzionamento elettrochimico.

Componente	Descrizione	Conc. Min.	Conc. Max.
CO	Monossido di carbonio	0 %vol	10,00 %vol
HC	Idrocarburi	0 ppm	99999 ppm
CO_2	Diossido di carbonio	0 %vol	18 %vol
O_2	Ossigeno	0 %vol	22 %vol
NO_X	Ossidi di azoto	0 ppm	5000 ppm
?	Valore lambda	0,500	9,999

Tabella 25 Range di misura dell'analizzatore

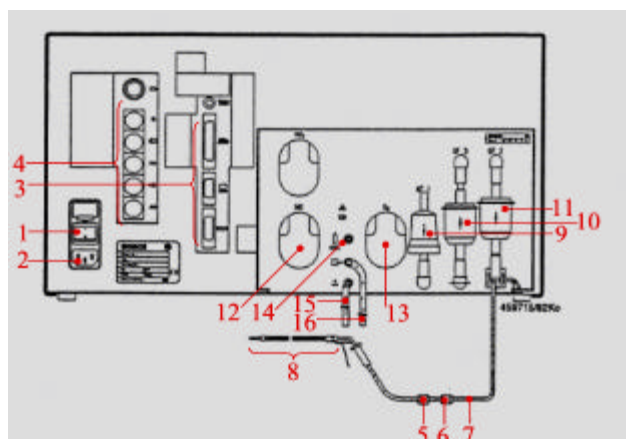
Il gas che deve essere misurato viene dapprima depurato da particelle ed aerosol attraverso un cascata di filtri. Le particelle sono elementi solidi come la polvere o la fuliggine mentre gli aerosol sono costituiti da minuscole goccioline di liquido. Essi si possono depositare lungo il percorso del gas e nelle celle di analisi formando una pellicola. Per evitare danni all'apparecchio di analisi è necessario quindi fare attenzione al corretto filtraggio e ad una corretta sostituzione dei filtri. L'analizzatore Bosch è dotato di tre tipi di filtri: GF1, GF2 e GF3.

1. Interruttore per l'alimentazione di tensione ON/OFF
2. Presa di rete con protezione di rete
3. Prese di connessione (per es. stampante esterna, tastiera, RTM430)
4. Prese di connessione (per es. trasduttore numero di giri, sensore temperatura)
5. Filtro grosso GF1 (durante le nostre prove ne sono stati applicati due in serie)
6. Filtro a carbone attivo
7. Tubo flessibile di prelievo in materiale Viton (lunghezza di 8 m)
8. Sonda di prelievo
9. Filtro a carbone attivo
10. Filtro di protezione pompa GF3
11. Filtro d'ingresso GF2
12. Trasduttore del valore misurato NO
13. Trasduttore del valore misurato O_2
14. Ingresso gas per calibrazione
15. Uscita gas e condensa (tubo flessibile in PVC trasparente di 140cm)
16. Uscita gas di misura (tubo flessibile in PVC trasparente di 140cm)

Figura 56 Lato posteriore dell'analizzatore BOSCH

Il filtro GF1 depura il deflusso del gas dalle particelle più grandi e quindi deve essere sostituito più di frequente per evitare uno scarso passaggio del gas da analizzare. Il filtro GF2 depura il gas di scarico dall'aerosol e da ulteriori particelle, mentre il GF3 è previsto per la protezione delle pompe.

Gli altri elementi che costituiscono l'analizzatore Bosch BEA 350 sono l'opacimetro RTM 430, il trasduttore per il valore misurato NO_X ed il trasduttore del valore misurato O_2. Quest'ultimi contengono rispettivamente un soluzione acida e basica e quindi è richiesta molta attenzione nel manipolare questi dispositivi.

I valori dei componenti dei gas di scarico rilevati possono essere stampati attraverso la stampante di protocolli integrata oppure attraverso un stampante *DIN A 4* esterna.

Il comando dell'analizzatore Bosch può avvenire attraverso i tasti funzionali sull'apparecchio, come pure a attraverso la tastiera del PC o il telecomando a raggi IR in dotazione. Le funzioni esistenti ed i simboli utilizzati sul telecomando e sulla tastiera sono identici; l'unica differenza è nella disposizione dei tasti.

Si distinguono due tipi di tasti: i tasti hardkey e i tasti softkey. I tasti hardkey sono a funzione fissa cioè sono uguali in tutti i programmi e passi di programma. I tasti softkey invece sono a funzione variabile, cioè possono variare la propria funzionalità a seconda del programma o del passo di programma selezionato.

Gli altri componenti in dotazione al Bosch BEA 350 sono:

- cavo di connessione B+ / B-;
- cavo di collegamento dell'opacimetro RTM 430 al BEA;
- tubo flessibile di prelievo per sonda di prelievo per autovetture (1 m);
- sonda di prelievo gas di scarico per autovetture (Diesel);
- sensore temperatura olio autovetture;
- tubo flessibile per la sonda di prelievo per autovetture (8 m);
- sonda di prelievo gas di scarico per autovetture (benzina);

* filtro grosso.

L'alimentazione di tensione avviene dalla rete elettrica. L'apparecchio di misura BEA è regolato dalla fabbrica a 230V, 50/60Hz.

6.1.3.2 La manutenzione

Affinché lo strumento possa fornire dati attendibili è necessario che gli interventi di manutenzione siano effettuati regolarmente. Sono distinte due tipologie di manutenzione: quella semestrale e quella annuale. Semestralmente devono essere cambiati i filtri GF1 e GF2 e deve essere verificata l'integrità dei tubi flessibili in PVC e della sonda di prelievo. La manutenzione annuale deve essere condotta da personale specializzato del servizio di assistenza Bosch, e consiste nelle operazioni gia descritte per la manutenzione semestrale comprendendo inoltre anche il controllo della precisione dell'apparecchio con un gas di verifica, la sostituzione del filtro a carbone attivo, nel percorso gas zero e la sostituzione del filtro di protezione pompa GF3.

Pertanto al fine di avere misurazioni precise è necessario controllare che il sistema di prelievo sia ermetico, mantenendo inoltre pulito, l'apertura della punta della sonda e controllando che il tubo flessibile di prelievo sia privo di danneggiamenti o di ostruzioni. Nel caso in cui la punta della sonda (prima è necessario smontarla dal tubo flessibile) o il tubo di prelievo presentino residui di HC o condensa di acqua, la pulizia si esegue insufflando aria compressa nel senso opposto a quello di aspirazione dell'apparecchio.

6.1.3.3 Messa in servizio dell'analizzatore BOSCH

Nella messa in servizio dell'analizzatore è necessario rispettare in ordine cronologico, le seguenti fasi:

1. *Tempo di riscaldamento*: della durata di circa 1 minuto e durante il quale non si possono eseguire le misurazioni;

2. *Verifica assenza di perdite nel sistema*: in questa fase all'estremità del tubo flessibile viene inserito l'apposito cappuccio ed il superamento della verifica viene indicato sul display dell'analizzatore;

3. *Misurazione*: dopo l'inserimento della pompa viene effettuata automaticamente la taratura a zero del sistema di analisi con l'aria ambiente (gas zero). Segue il test sui residui *HC* e successivamente viene automaticamente abilitata la misurazione.

4. *Taratura a zero automatica*: dopo l'avviamento di una misurazione, l'apparecchio di misura esegue ad intervalli irregolari autonomamente un controllo del sistema con aria ambiente (viene controllata ed all'occorrenza aggiustata la deriva della misurazione d'ossigeno). Per il controllo del sistema l'apparecchio di misura commuta una valvola elettromagnetica per l'entrata di aria ambiente. Per 30 secondi viene lavato con gas zero. L'aria ambiente aspirata viene depurata dagli idrocarburi attraverso un filtro a carbone attivo. Se il sistema sta eseguendo una misurazione, il controllo viene eseguito al termine della misurazione.

5. *Misurazione del valore lambda*: dalle concentrazioni rilevate di *HC*, *CO*, CO_2 e ossigeno, l'apparecchio di misura calcola il valore lambda. Essenziale per il calcolo del valore lambda è una misurazione esatta dell'ossigeno. A questo scopo devono esser attivati il calcolo del valore lambda e la misurazione d'ossigeno. Il valore lambda viene calcolato con la formula Brettscheider[165];

165
$$l = \frac{[CO_2] + \frac{[CO]}{2} + [O_2] + \left| \frac{Hcv}{4} \times \frac{3,5}{3,5 + \frac{[CO]}{CO_2}} - \frac{[Ocv]}{2} \right| \times ([CO_2] + [CO])}{\left(1 + \frac{Hcv}{4} - \frac{Ocv}{2}\right) \times ([CO_2] + [CO] + K1 \times [HC])}$$

6. *Misurazione dell'ossigeno*: l'apparecchio di misura dei gas di scarico è equipaggiato con un trasduttore dei valori misurati O_2. Questo trasduttore viene avvitato sul lato posteriore dell'apparecchio nello spazio apposito. Il trasduttore dei valori misurati O_2 è un pezzo soggetto ad usura. La misurazione dell'ossigeno viene calibrata automaticamente con il contenuto di ossigeno nell'aria di 20,9% vol. ed è necessaria per il calcolo del valore lambda.

Per la misurazione dei gas di scarico dei motori a due tempi si rende necessario inoltre considerare alcuni fattori. I veicoli con motori a due tempi hanno in confronto con i veicoli a quattro tempi, emissioni maggiori di *HC* ed inoltre contengono olio. L'olio è composto principalmente da idrocarburi (*HC*) e tende a depositarsi alle pareti del percorso esterno del gas (sonda, tubo flessibile, filtro). Questi depositi hanno l'effetto di falsare la misurazione di *HC* (sovrastimata) dei gas di scarico. Tale fenomeno prende il nome di "hang-up". Si può impedire la formazione di summenzionati depositi con l'impiego di filtri a carbone attivo. Questi filtri principalmente legano e neutralizzano l'olio e gli idrocarburi volatili ed hanno pertanto una durata limitata. Essi devono essere inseriti lungo il percorso del gas e a ridosso del filtro grosso. Anche a valle del filtro a carbone attivo, sulle pareti del *tubo flessibile di prelievo*, si possono verificare piccoli depositi di *HC* e che sono rimossi attraverso il lavaggio con la pompa integrata nell'apparecchio di misura. Dopo ogni misurazione eseguita ad un motore a due tempi, la pompa deve rimanere inserita finché il valore *HC* visualizzato scende sotto 20 ppm. Il tempo di lavaggio dipende pertanto dalla grandezza del valore residuo. Esso può durare circa 30 minuti, ma può superare questa durata anche di molto. Scegliendo questo metodo, per la misurazione dei motori a due

---

Dove:
[] concentrazione in %vol., anche per HC;
K1 fattore di concentrazione per HC da NDIR a FID;
Hcv rapporto idrogeno-carbonio nel carburante (valore normale 1,7261);
Ocv rapporto ossigeno-carbonio nel carburante (valore normale 0,0175).

tempi, è richiesto il *filtro a carbone attivo*. Questo filtro è inserito nel percorso del gas per ogni misurazione del genere. Un altro metodo di lavaggio consiste nella pulizia con l'aria compressa del tubo flessibile scollegato dall'analizzatore. Tutte queste misure sono state scrupolosamente osservate nel corso della sperimentazione.

6.1.4 Preparazione delle macchine

Conformemente a quanto riportato dalla Direttiva[166], per l'esecuzione delle prove sulle macchine sono state eliminate le apparecchiature e i dispositivi ausiliari che potrebbero falsare i risultati assorbendo potenza dal motore. Pertanto la motosega è stata privata della barra di taglio e quindi del carter-frizione. Inoltre, per la valutazione dei consumi specifici si è reso necessario mettere in comunicazione la macchina al sistema di rifornimento[167].

Per questo è stato scollegato il raccordo del carburatore dal tubo di aspirazione della miscela, collegandolo poi al tubo di alimentazione proveniente dal circuito del carburante. Questo tubo è stato fatto passare nel vano carburatore sotto il coprifiltro attraverso la piastra supporto carburatore, evitando di farlo interferire con i leveraggi dell'acceleratore.

6.1.5 Carburante impiegato

Per l'esecuzione dei test relativi alla valutazione della concentrazione dei componenti gassosi contenuti nei gas di scarico delle attrezzature portatili, la normativa impone l'impiego di un carburante speciale le cui caratteristiche soddisfano alcune specifiche[168].

Questo carburante viene prodotto dalla Chevron Phillips Chemicals con sede in Brusselsesteenweg Overijse (Belgio) ed è venduto in fusti da 54 galloni corrispondenti a circa 150kg.

---

[166] Direttiva 2002/88/CE, Appendice 3 – Apparecchiature e dispositivi ausiliari da installare per la prova per determinare la potenza del motore
[167] Confronta il Paragrafo 6.1.1.2
[168] Direttiva 2002/88/CE che modifica la 97/68/CE di cui l'Appendice 4, allegato V (ex allegato IV) – Caratteristiche tecniche del carburante di riferimento prescritto per le prove di omologazione e per la verifica della conformità all'omologazione

Le principali caratteristiche del prodotto vengono riportate nella tabella 26 seguente.

Questo prodotto inoltre rispetta le specifiche del Federal Regulation CFR-40, Part 86.113, ed è indicato per l'uso nei test di certificazione delle emissioni.

Pertanto le prove sono state condotte dapprima con l'impiego del carburante in oggetto e successivamente con la miscela ecologica, in modo da avere un raffronto di emissioni (Paragrafo 6.1.7.1).

Proprietà		Valori tipici	Valori specifici	Metodo di prova
Corrosione del rame dopo 3 h a 50° C		1	1 max	ASTM D 130
API gravity a 60° F		59,8	58,7-61,2	ASTM D 1250
Peso specifico a 60/60° F		0,740	0,734-0,744	ASTM D 4052
Stabilità all'ossidazione		1440+	1440 min	ASTM D 525
Densità carbonio		2420	20401-2441	Calcolato
Gomma esistente, mg/100ml		1,0	5 max	ASTM D 381
Contenuto di piombo, g/gal		0,001	0,05 max	ASTM D 3237 Modificato
Contenuto di zolfo, wt %		0,005	0,1 max	ASTM D 3120
Contenuto di fosforo, g/gal		0,001	0,005 max	ASTM D 3231
Contenuto di alcool, % vol		0,00	0,00 max	Procedura EPA 10
Pressione di vapore a 100° F, psia		9,0	8,7-9,2	ASTM D 323
Ricerca numero di ottani		96,1	96,1	ASTM D 2899
Numero di ottani		87,0		ASTM D 2700
Sensibilità		9,0	7,5	Calcolato
Intervallo di distillazione a 760mmHg, ° F				ASTM D 86
	Punto di inizio ebollizione	91	75-96	
	10%	128	120-135	
	50%	220	200-230	
	90%	309	300-325	
	Punto di fine ebollizione	409	415 max	
Composizione, vol%				ASTM D 1319
	Olefine	5	10 max	
	Aromatici	28	35 max	
	Saturi	67	residuo	
Calore di combustione, Net, Btu/Ib		18400		ASTM D 3338
Contenuto di carbonio, wt %		86,5		
Contenuto di idrogeno, wt %		13,5		
Indice antidetonanti, (R+M)/2		92,0		Calcolato

Tabella 26 Caratteristiche del carburante UTG 96

6.1.6 Lubrificante

La direttiva non pone alcuna specifica sul lubrificante impiegato, pertanto si sono potuti utilizzare liberamente sia dei lubrificanti ecologici che tradizionali, senza pericolo alcuno di invalidare in test. Per il confronto delle emissioni è stato utilizzato il lubrificante Castrol Garden Synthetic 2T Oil, fornito dalla Castrol Italia con sede a Milano.

Questo lubrificante è completamente sintetico e ad alte prestazioni, studiato per piccoli motori a due tempi raffreddati ad aria e montati su motoseghe, decespugliatori, rasaerba e macchinari da giardinaggio in genere.

Grazie all'utilizzo di speciali basi sintetiche, offre una superiore protezione dell'usura ed eccellenti proprietà antigrippaggio, garantendo così il massimo livello di protezione del motore anche in condizioni di lavoro estremamente difficili. Allo stesso tempo, l'elevatissimo controllo dei depositi della combustione, assicura la costanza delle prestazioni nel tempo, lunga durata degli organi meccanici e riduzione delle soste di manutenzione.

Come per quanto visto nel paragrafo precedente, le prove sono state condotte dapprima utilizzando una miscela non ecologica a base della benzina UTG 96 di cui prima e di lubrificante Castrol e successivamente, per il raffronto delle emissioni, con una miscela ecologica e base di benzine alchilate o di lubrificanti a bassa emissione (Paragrafo 6.1.7.1).

Proprietà	Unità	Valori tipici	Metodo di prova
Densità a 20° C	kg/dm^3	0,865	ASTM D 1298
Viscosità cinematica a 100° C	cSt (1)	7,0	ASTM D 445
Viscosità cinematica a 40° C	cSt	36	ASTM D 445
Indice di viscosità	°C	162	ASTM D 2270
Punto di infiammabilità, vaso chiuso	°C	76	ASTM D 92
Ceneri solfatate	% peso	0,15	ASTM D 874
Punto di scorrimento	°C	-54	ASTM D 97
TBN	mg KOH/g	5,75	ASTM D 2200

(1) 1 cSt = 1 mm^2/s unità di misura per la viscosità

Tabella 27 Caratteristiche del Castrol Garden Synthetic 2T Oil

6.1.6.1 Specifiche dei lubrificanti ecologici e della benzina alchilata, impiegate nei test

Nella tabella che segue (Tabella 28), sono riportati i lubrificanti ecologici e la benzina alchilata, impiegati nel corso dei test. I lubrificanti ecologici sono stati miscelati con il

carburante UTG 96 mentre la miscela ecologica non ha necessitato di aggiunte di olio lubrificante, in quanto "esce" già dalla fabbrica con un miscelazione al 2%.

Prodotto	Tipologia	Proprietà ecologiche	Ditta produttrice o fornitrice	Densità	
				temp.	g/cm³
Castrol Garden Synthetic 2T Oil (1)	lubrificante	no	CASTROL	20°C	0,865
Castrol Greentec XTS	lubrificante	si	CASTROL	15°C	0,935
HVA 2 -Stroke low smoke	lubrificante	si	HUSQVARNA	15°C	0,865
STIHL HT Plus Bio	lubrificante	si	STIHL	15°C	0,943
STIHL TT/N (2)	lubrificante	no	STIHL	20°C	0,880
Aspen 2T	miscela ecologica	si	HUSQVARNA	-	0,700
Benzina speciale per prove (3)	benzina	no	HALTERMANN PRODUCTS	15°C	0,731
Benzina verde (4)	benzina	no	PPVV	15°C	0,748

(1) Lubrificante di base per i raffronti nei test, le cui proprietà sono riportate nel Paragrafo 6.1.6
(2) Utilizzato in alternativa al Castrol Garden 2T, rispetto al quale presenta delle migliori caratteristiche
(3) Benzina speciale per prove motori, le cui proprietà sono riportate nel Paragrafo 6.1.5
(4) Non è stata impiegata nel corso dei test, ma le sue specifiche possono essere interessanti se raffrontate con quelle delle altre benzine impiegate

Tabella 28 Specifiche dei carburanti e lubrificanti utilizzati nel corso della prova

Oltre ai lubrificanti di cui alla Tabella 28, sono stati impiegati anche due lubrificanti di origine vegetale prodotti dall'ESTERECO a base di olio di colza, dei quali purtroppo non abbiamo maggiori informazioni. Le altre proprietà dei lubrificanti impiegati nella sperimentazione sono riportate nella tabella seguente[169].

[169] Queste informazioni sono state estrapolate dalle schede di sicurezza fornite insieme ai prodotti

Proprietà	Unità	**Castrol Greentec XTS**	**HVA 2 Stroke Low Smoke**	**Stihl HT Plus Bio**	**Stihl TT/N**
Densità a 20° C	g/cm³	0,895	0,865 (a 15°C)	0,943 (a 15° C)	0,880
Viscosità cinematica a 100° C	cSt	8,4	8,6	9,9	12,5
Viscosità cinematica a 40° C	cSt	49	54	55,3	113,9
Indice di viscosità	°C	149	140	-	-
Punto di infiammabilità, a vaso chiuso	°C	222	> 200	262 (vaso aperto)	266
Punto di scorrimento	°C	- 39	- 45	- 36	- 27

Tabella 29 Confronto delle proprietà dei lubrificanti impiegati

Proprietà	Unità	**ASPEN 2T**
Densità	g/cm³	0,690 ÷ 0,710
Punto di ebollizione	°C	30 ÷ 190
Punto di infiammabilità	°C	< 0
Temperatura di accensione	°C	> 250
Limiti di infiammabilità	%VOL	0,6 ÷ 8,0
Pressione dei vapori	Pa a 38°C	55 ÷ 65
Solubilità in acqua	ppm	< 100

Tabella 30 Caratteristiche della benzina (miscela) alchilata ASPEN 2T

6.1.7 Benzina normale, benzina verde e benzine alchilate: quali vantaggi?

Come accennato nel corso dell'introduzione, attualmente l'unica benzina presente in commercio e quindi anche l'unica disponibile per le attrezzature portatili, è quella comunemente chiamate "verde" o "senza piombo". Questa tecnologia sta a significare che qualcos'altro viene addizionato alla benzina per mantenere lo stesso numero di ottani. Infatti, sin da circa il 1970, il contenuto di piombo nella benzina ordinaria è stato ridotto. I gruppi principali di sostanze che le compagnie petrolifere usano al posto del piombo, sono:

1) *Aromatici*: composti organici basati sull'anello di benzene, cioè un anello di carbonio 6 (esavalente) con tre legami doppi delocalizzati, quali il *benzene*, il *toluene*, lo *xilene*, etc;
2) *Olefine*: composti organici con legami doppi;
3) *Ossigenati*: composti organici contenenti molecole di ossigeno, come il *metano*, *l'etano* o l' *MTBE* e l'*ETBE*[170].

L'ente statunitense che si occupa della protezione ambientale (EPA) ha preso di mira cinque sostanze inquinanti dell'aria per la loro tossicità: il *benzene* e il *butadiene 1.3*, sono le prime due in cima alla lista, vista la loro elevata cancerogenicità.

La domanda che sorge spontanea a coloro che si occupano di problematiche relative ai motori endotermici, è quale sia l'attuale composizione delle benzine con il piombo, di quelle normali senza piombo, e di quelle super senza piombo.

Tale domanda non trova una risposta immediata, tenuto conto del fatto che addirittura in alcuni paesi, come l'Australia e l'Inghilterra, le compagnie petrolifere non sono tenute a fornire nessuna informazione circa il contenuto chimico in piombo delle benzine prodotte.

Da uno studio indipendente[171], emerge come nella benzina normale, il contenuto totale di idrocarburi aromatici era del 27.7% ed il livello di benzene al 2%, mentre attualmente, la benzina senza piombo presenta un contenuto di aromatici del 29.2%, con un livello di benzene pari al 2.1%. Ciò significa che il contenuto di aromatici ed i livelli di benzene sono molto simili tra benzina normale e quella verde.

Inoltre la benzina senza piombo standard ha un numero di ottani più basso, di circa 91, laddove quella con piombo ha un numero di ottani di 96 o maggiore. Il componente di

[170] MTBE, Methyl Tertiary-Butyl Ether ed ETBE, Ethyl Tertiary-Butyl Ether. Confronta il Riferimento n.16
[171] Dott. Michael Dawson dell'Università di Tecnologia di Sydney

piombo aggiunto è appena sufficiente a incrementare il numero di ottani da circa 91 ad oltre 96. Quella super senza piombo ha un numero di ottani pari a 96, pertanto ha un contenuto di idrocarburi aromatici, come pure di benzene, molto più basso di altre benzine. Questa analisi della benzina australiana fu effettuata prima del 1 Gennaio 1995: i livelli di piombo erano a 0,3 g/l. Dopo questa data, i livelli massimi furono ridotti a 0,2 g/l, il che significa che è stata impiegata una maggior quantità di additivi alternativi (aromatici, compreso benzene e/o olefine, economici sostituti per il piombo), ma che le quantità di piombo presenti, sono ancora ragguardevoli.

Il terzo gruppo di sostanze alternative per aumentare gli ottani sono gli ossigenati. Un importante sottoprodotto della loro combustione è l'acido aldeide che sembra essere meno tossico del benzene.

Pertanto, il Dott. Arthur Chesterfield-Evans, un esperto nella salute occupazionale, ritiene che il pubblico sia stato fuorviato dalle dichiarazioni che affermano l'eliminazione del piombo dalla benzina, e della riduzione dei suoi effetti negativi sulla salute e sull'ambiente.

L'EPA statunitense afferma che la metà di tutti i casi di tumore potrebbero essere messi in relazione con questo inquinamento dell'aria. Altri scienziati si domandano come mai alle compagnie petrolifere sia consentito sostituire un cancerogeno per una neurotossina.

Il cancerogeno è rilasciato nell'aria che respiriamo, mentre la neurotossina che lo sostituisce viene fuori dagli scarichi, come ossido di piombo o cloruro di piombo e cade vicino alla strada.

Il Proff. Roger Perry, capo del Sydney Melanoma Unit, del Royal Prince Alfred Hospital, dichiara: "Il benzene è un agente altamente cancerogeno. E' causa di tumori ai polmoni, al fegato, ai reni, alla pelle e di leucemia".

Un altro problema da considerare è di mera natura chimica: le benzina verde contiene grandi quantità di *MTBE* necessario come additivo antibattimento (al posto del piombo), mentre lolio per motori contiene un additivo, lo zinco ditiofosfato (*ZDTP*), del quale non si può fare a meno in quanto garantisce la longevità dell'olio stesso. Se *MTBE* e lo *ZDTP* interagiscono sotto l'azione del forte calore si va incontro a qualcosa di catastrofico: si possono formare *estere fosforico* e componenti similari che rientrano nel gruppo dei *gas nervini* (*Tabun*, *Sarin*, E-*605*, etc). In conclusione, dalle marmitte (anche quelle catalitiche) delle auto e degli altri mezzi a motore a benzina, fuoriescono gas estremamente tossici. Il problema è particolarmente critico dopo che per le automobili che hanno percorso circa 15.000 km. Se questo rappresenta un problema per il conducente, figuriamoci per coloro che utilizzano attrezzature portatili, le quali sprigionano direttamente "in faccia" all'operatore, questi venefici gas.

6.1.7.1 La benzina alchilata

Per far fronte alle problematiche viste nel paragrafo precedente, ormai da alcuni decenni, nei paesi d'oltre alpe, si stanno studiando dei composti organici con proprietà antidetonanti in grado di sostituire completamente il benzene ed il piombo, nella composizione della benzina.

Tali sostanze sono gli *alogenuri alchilici*, cioè dei composti organici derivati dagli *alcani*[172] per sostituzione di uno o più atomi di *idrogeno* con altrettanti atomi di alogeni (*fluoro*, *cloro*, *bromo* e *iodio*), aventi perciò la formula bruta riportata nell'Equazione 23.

---

[172] L'*idrocarburo alcano* è un *idrocarburo alifatico saturo* (ad esempio la paraffina) cioè che hanno le valenze degli atomi di carbonio non impegnate in legami semplici con altri atomi di carbonio saturate da atomi di idrogeno. Contengono perciò il massimo numero possibile di atomi di carbonio.
[Tratto dal Capito 4, Paragrafo 4.1 del Volume Primo del Libro "*Lezioni di Chimica*" del *Prof. Silvio Bezzi*, V Edizione – Padova 1965]

note	Caratteristiche	Unità di misura	Metodo	Valore minimo	Valore massimo	Specifica legale	Specifica commerciale
(1)	Contenuto aromatici	%v/v	ASTM D-1319/95	-	37,8	40	37,8
(2)	Aspetto	%v/v	Esame visico	Chiaro e limpido			
(1)	Contenuto in benzene	%v/v	EN-12177	-	0,94	max1,0	0,94
(3)	Colore						
	Ossigeno	%m/m	EN-1601	-	2,7	max2,7	
(4)	Composti Ossigenati: MTBE+ETBE	%v/v	ASTM D-4815	-	15	max15	
(2)	Corr.su Rame (3h a 50°C)	Ind.ASTM	ISO-2160	-	1	max1	
(2)	Densità a 15°C	kg/m³	ISO-3675	720	775	729-775	
(2)	Distillazione:		ISO-3405				
	Evaporato a 70°C						
	1Mag – 30Set	%v/v		20	48	20-48	
	1Ott – 30Apr	%v/v		22	50	22-50	
	Evaporato a 100°C	%v/v		46	71	46-71	
	Evaporato a 150°C	%v/v		75	-	min85	
(5)	Temp (90%Ev.-5%Ev)	°C		61	-	min60	
	Punro finLW	°C		-	210	max215	
	Residuo	%v/v		-	2	max2,0	
	Gomme Esistenti (non lavate)	mg/100ml	EN-ISO-6246	-	-	-	
(2)	Gomme esistenti (lavate)	mg/100ml	EN-ISO-6246	-	3	max5	max3
(2)	N° Ottano MON		EN-25163	85,2	-	min85	min85,2
(2)	N° Ottano RON		EN-25164	95,2	-	min95	min95,2
	Numero di Acidità	mg KOH/g	ASTM D-664	-	0,04		max0,04
(2)	Stabilità all'ossidazione	min	ISO-7536	360	-	min360	
(2)	Piombo		ASTM D-3237	-	0,005	max0,013	0,005
(5)	Punto di infiammabilità	°C	ASTM D-56	-	21	max 21	-
	Saggio DOCTOR		IP-30	Negativo			
(2)	TVR:		EN-13016				
	1Mag-30Set	hPa		450	600	450-600	
	16Mar-30Apr/1Ott – 15Nov	hpa		500	800	500-800	
	16Nov – 15Mar	hPa		600	900	600-900	
(2)	VLI:						
(6)	16Mar – 30Apr/1Ott – 15Nov			-	1050	max1050	
(2)	Zolfo totale	mg/kg	ISO 14596	-	150	max150	

Note

(1)Benzene 1,0 % v/v e Aromatici 40,0 % v/v. Limite L.413 del 04-11-97.

(2)Caratteristiche previste dalla Norma EN-228.

(3)Per il prodotto destinato all'utotrazione richiesta l'aggiunta di 4 g/q di colorante verde costituito da:

Solvent blue 79 o similari + Solvent yellow 174 o similari (D.M. n° 64 del 6-3-97).

E (1% - 1cm) = 93 +/- 5% a 650 +/- 3 nm;

E (1% - 1cm) = 46 +/- 5% a 419 +/- 3 nm;

Colorazione per Agricoltura: Violetto Alizarina a base 5 g/q + Marcante A 2 g/q + Tracciante RS 3 g/q + Toluene o Xilene 13 g/q.

(4)Limite DPCM n° 397 del 7-10-97. Riportare i singoli Eteri separatamente.

L'uso di altri composti ossigenati diversi dai 3 in elenco, non è consentito.

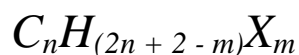
MTBE - ETBE - TAME.

(5)Caratteristiche previste dalle Norme Doganali.

(6)V.L.I. = TVR(hPa) + 7*(%Evap. @ 70 °C).7Non è consentita l'aggiunta di composti contenenti Fosforo.

_ contenuto di benzene e di piombo

Tabella 31 Caratterizzazione della benzina super senza piombo (la più comunemente utilizzata)

$$C_nH_{(2n+2-m)}X_m$$

dove:
X rappresenta convenzionalmente un qualsiasi alogeno
Equazione 23

La benzina alchilata è commercializzata come carburante per i motori a quattro tempi oppure come miscela per quelli a due tempi[173]. I vantaggi di questa benzina si possono ricapitolare nei seguenti punti:

- durante il lavoro con le attrezzature portatili, si respirano molte meno sostanze nocive, rispetto ad una attrezzatura alimentata con la comune *benzina verde*;
- non lascia depositi nel motore e nel tubo di scappamento;
- aumenta la resa e la durata dell'apparecchio;
- può essere stoccata per diversi anni senza problemi e quindi, alla ripresa dell'utilizzo dopo la pausa invernale, non crea problemi.

Le ditte fornitrici dichiarano pertanto che un tosaerba a benzina verde, inquina come 26 automobili. Con la benzina alchilata le emissioni nocive si riducono a quelle prodotte da una sola automobile.

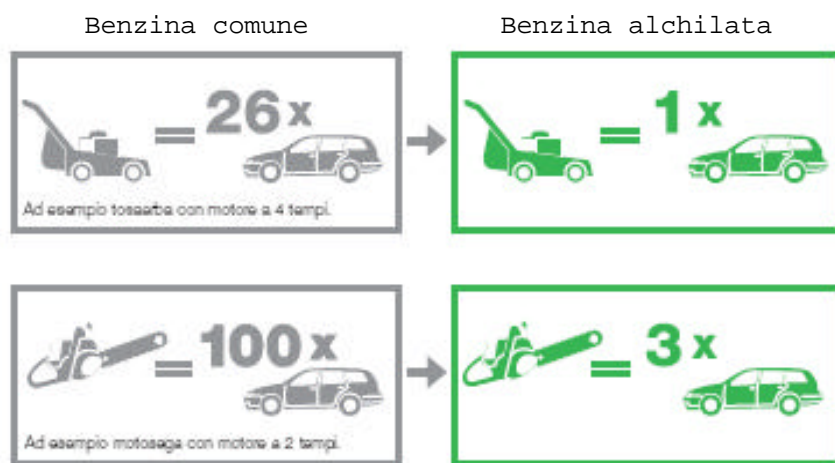



Figura 57 Vantaggi in termini di emissione delle benzine alchilate [www.husqvarna.com]

La stessa cosa vale per gli apparecchi a motore a due tempi (motoseghe, decespugliatori, etc.,) alimentati da una miscela composta da benzina comune e olio. La

[173] Husqvarna Aspen 2T, impiegata nella nostra sperimentazione

miscela già pronta (con benzina alchilata) permette di ridurre notevolmente le emissioni nocive: dall'equivalente di 100 automobili ad una quantità emessa da 3 automobili[174]. Usando la benzina comune quindi, è inevitabile l'inalazione da parte dell'operatore, di grosse quantità di sostanze nocive o addirittura cancerogene, come il *benzene*.

Per stimolare la produzione di questo carburante, che effettivamente richiede un maggiore esborso di denaro, l'Europa, con la Direttiva 2002/828/CE[175] propone di applicare un aliquota differenziata sull'energia impiegata per produrre benzina alchilata per i motori a due tempi. Questa misura che attualmente riguarda solo la Svezia è auspicabile che nel prossimo futuro possa essere estesa a tutti gli altri stati dell'Unione.

6.1.7 Conduzione delle prove per la valutazione delle emissioni inquinanti

Riassumendo, le operazioni necessarie per l'accoppiamento della motosega ALPINA P500, con il banco freno Schenck W40 e l'analizzatore per gas di scarico Bosch BEA 350, nonché le fasi che portano all'ottenimento dei valori sperimentali di concentrazione dei componenti tossici, possono essere sintetizzate nei seguenti punti:

1. preparazione della macchina e messa al banco;
2. preparazione della cella motori, del freno Schenck e dell'analizzatore Bosch;
3. rifornimento al circuito del carburante per la valutazione dei consumi;
4. valutazione delle caratteristiche ambientali della cella motore;
5. messa in moto delle macchine;
6. carburazione delle macchine;
7. analisi del gas di scarico emesso dal motori secondo le modalità previste;

[174] Tratto dal bollettino UFAFP del Gennaio del 1997

[175] Decisione del consiglio dell'8 *ottobre 2002 che autorizza la Svezia ad applicare un'aliquota differenziata di imposta sull'energia alla* benzina alchilata per i motori a due tempi conformemente all'articolo 8, paragrafo 4, della direttiva 92/81/CEE – Direttiva 2002/828/CE

8. caratterizzazione dei motori in prova;

9. smontaggio della macchina dal banco di prova.

Per quanto riguarda il punto 3, il rifornimento avviene in principio con la miscela non ecologica e successivamente, ripetendo tutti i punti del protocollo, con alimentazione a base di miscela ecologica. Le informazioni raccolte sono trascritte su delle apposite schede.

6.1.7.1 Dettaglio sullo svolgimento delle singole fasi

Come descritto nel Paragrafo 6.4, per preparazione della macchina, si intende lo smontaggio di tutti i dispositivi ausiliari che assorbono potenza, come la barra di taglio, il carter copri-rocchetto, etc. Successivamente la motosega è allestita sulla culla corrispondente e quindi è inserita la campana di frizione speciale con il giunto HRC, per l'accoppiamento alla flangia del freno dinamometrico. Quando la campana di frizione è inserita lungo il perno frizione (albero motore), tra questo e la campana, è interposto un cuscinetto ad anello interno (o gabbia a rullini), che viene lubrificato con uno speciale grasso per cuscinetti "Sapphire" per alti carichi, a base di bisolfuro di molibdeno. L'operazione di "ingrassaggio" è ripetuta all'inizio di ogni prova.

Per bloccare lo scorrimento della campana lungo il perno, è inserito all'estremità di questo un fermo RS ∅ 8, che va ad incastrarsi nella scanalatura realizzata ad hoc sull'albero motore. Tra quest'ultimo e la campana è inserito inoltre uno "spessore" in rame appositamente sagomato, avente lo scopo di compensare la tolleranza esistente tra la campana ed il fermo, che altrimenti sarebbe molto pericolosa durante il moto della macchina. La preparazione delle macchine si conclude apportando le modifiche necessarie viste nel Paragrafo 6.4, per il collegamento al circuito del carburante per la valutazione dei consumi.

Per messa al banco si intende invece l'insieme delle operazioni atte a garantire il corretto accoppiamento della motosega Alpina P500, con il freno dinamometrico SCHENCK. Per prima cosa si esegue un allineamento in tolleranza fra l'asse del freno e quello della macchina in prova e successivamente l'aggancio del mozzo del giunto elastico della frizione con quello solidale alla flangia del freno dinamometrico. Dopo avere accertato ad occhio l'allineamento tra l'asse di rotazione del freno e quello della frizione della macchina, i trafilati a doppia I su cui è ancorato il complesso macchina-culla sono spinti verso il freno permettendo così l'aggancio di cui sopra. A questo punto ruotando con la mano il giunto elastico di nuovo assemblato, si verifica se le tolleranze esistenti tra i due mozzi siano uguali da tutti i punti di vista (sopra, sotto, a destra e a sinistra). In caso contrario, agendo molto delicatamente sulle viti senza fine del telaio regolabile, si esegue la compensazione delle tolleranze.

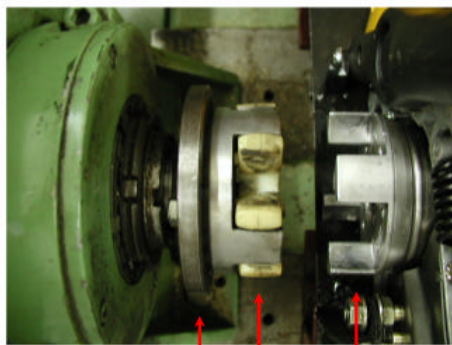



Figura 58 Allineamento e successivo agganciamento della motosega al freno dinamometrico

Tra i due mozzi deve comunque esistere una tolleranza di almeno 2 mm per evitare l'insorgenza di pericolosi attriti tra i due componenti metallici. L'operazione in questione, dati i piccolissimi spessori in gioco, prevede l'impiego di un calibro di precisione.

In conclusione si esegue il collegamento al circuito del carburante per la valutazione dei consumi e l'inserimento al raccordo speciale per l'aspirazione dei gas di scarico.

Prima dell'esecuzione delle prove per l'analisi dei gas di scarico, sono attivati nell'ordine il sistema di aspirazione alla massima velocità di espulsione, le ventole della canna fumaria per il tiraggio dei gas di scarico e la pompa dell'acqua di raffreddamento del freno a correnti parassite. I comandi di questi dispositivi sono collocati in un pannello di controllo ubicato nel limitrofo stanzino, raggiungibile velocemente dalla seconda porta tagliafuoco della cella.

Successivamente si accende il freno Schenck W40 premendo gli interruttori T, H e P delle piastre di comando delle apparecchiature contenute nell'armadio Schenck[176]. L'avvenuta attivazione è indicata dall'accensione della lampada ad incandescenza rossa sottostante.

E' necessario inoltre assicurarsi dell'inserimento del tasto S sull'amplificatore della cella di carico (corrispondente alla modalità: freno pronto a dare il carico), del tasto A e J sull'apparecchio di comando LSG 24/18 e del tasto K sul contatore universale LUZ 11/36, corrispondente alla modalità numero di giri. Successivamente sull'LSG 24/18 va regolato il potenziometro R3 in base al numero di giri massimo della macchina da provare e viene premuto il tasto E corrispondente alla modalità di funzionamento del freno denominata "posizione M"[177]. E' inoltre necessario accertarsi che il contatore del potenziometro R1 come pure gli indicatori P1, P2 e P3, nonché l'indicatore analogico della forza, siano posizionati sullo zero. L'accensione della luce verde I sull'LSG 24/18 indica che il freno è in stand-by cioè pronto ad applicare i carichi nel corso delle prove per la valutazione degli agenti tossici contenuti nei gas.

---

[176] Confronta il Paragrafo 6.2.1
[177] Confronta il Paragrafo 6.2.2

Una volta acceso l'analizzatore Bosch BEA, dopo una breve presentazione dell'apparecchio, si visualizza sul display a cristalli liquidi, il menù principale. Se si tratta della prima accensione della giornata viene richiesto l'inserimento del cappuccio in gomma all'estremità del tubo flessibile di prelievo per la verifica dell'assenza di perdite nel circuito di aspirazione.

Figura 59 Display a cristalli liquidi dell'analizzatore per gas di scarico BOSCH BEA 350

Il menù principale richiede il tipo di operazione che l'analizzatore deve volgere, riassumibile nei seguenti 3 punti:

1. analisi gas di scarico;
2. diagnosi;
3. configurazione.

Per le nostre analisi, con il tasto funzionale F2 (Figura 59), viene selezionata la modalità diagnosi che consente di eseguire le misurazioni dei gas di scarico indipendentemente dalla parte ufficiale dell'analisi dei fumi di scarico[178].

[178] Questa è invece richiesta al fine del rilascio della certificazione "bollino blu", e necessita di alcune informazioni come la targa del veicolo, la marca, il tipo, il numero di serie, l'anno di immatricolazione ecc. che rappresentano una serie di dati del tutto irrilevanti nel corso delle analisi effettuate

Dopo aver confermato con il tasto F5 la modalità diagnosi, nella finestra successiva si deve scegliere se la misurazione debba essere eseguita su un motore alimentato a benzina o a gasolio. Ovviamente nel caso dei motori a due tempi in esame si seleziona la prima modalità e nella schermata successiva, vengono richiesti i tipi di misurazione da effettuare:

1. valori misurati;
2. U-Lambda;
3. Punto di accensione ed angolo di chiusura.

Si confermata perciò l'opzione "valori misurati", premendo il tasto F5, e successivamente si ripete l'operazione sulla finestra *configurazione numero di impulsi* e su quella dei *valori misurati*. La procedura di configurazione del numero di giri viene saltata e si passa direttamente alla stima dei valori misurati premendo di nuovo F5. Prima di accedere a questa finestra, l'analizzatore esegue l'azzeramento con un gas di calibrazione e successivamente valuta i residui di *HC* nel circuito di analisi. Le misurazioni dei gas di scarico non possono avvenire fino a quando il valore di tali residui non scende al disotto di 20 ppm. Il tempo necessario affinché il sistema di aspirazione dell'analizzatore raggiunga tale valore è piuttosto elevato, anche dell'ordine dei 60 minuti. Ciò è dovuto al fatto che i motori a due tempi contengono nei gas di scarico un'elevata quantità di idrocarburi incombusti (*HC* appunto), dell'ordine anche di 14.000 ppm. Quindi durante le analisi dei gas di scarico della motosega, per passare da una modalità all'altra cioè per eseguire la prova al minimo e poi al massimo, è stato necessario aspettare che le parti per milione di *HC* raggiungessero il valore previsto. Il tempo di attesa può essere ridotto ricorrendo al lavaggio del tubo flessibile di prelievo insufflando aria compressa nello stesso e sostituendo, dopo ogni macchina testata, i due filtri grossi GF1[179].

---

[179] Confronta i Paragrafi 6.3 e 6.3.1

Nella finestra “valori misurati” sono visualizzati in forma numerica i seguenti parametri:

* numero di giri/min (non rilevato);
* temperatura olio in °C (non rilevato);
* *CO* corretto in % vol (*CO cor*);
* Lambda;
* *HC* in ppm;
* *CO* in % vol;
* CO_2 in % vol;
* O_2 in % vol;
* *NO* in ppm.

Con il tasto F3 vengono memorizzati i valori misurati fino ad un massimo di 25 valori o risultati.

B O S C H
diagnosi gas di scarico
Versione BEA: V1.10-ITA
versione AMM: 5575
N°.d'omologaz.:
N°.di serie.:
Pr.contr. periodico:
16.01.2003
Versione DTM: V1d03
N°.d'omologaz.:
N°.di serie.:
Data: 22.07.2002
inizio prova: 15:57
fine prova:
CENTRO DI REVISIONE
UNIVERSITA' LA SAPIENZA
Dipartimento di meccanic
e aeronautica
via Eudossiana 18
00184 ROMA
carburante: benzina
risultato 1. misurazione
temp. olio 28 °C
COcor --- % vol
HC 0 ppm vol
CO 0.0 % vol
CO2 -0.00 % vol
O2 20.95 % vol
NO 1 ppm vol
risultato 2. misurazione
temp. olio 28 °C
COcor 8.4 % vol
HC 9482 ppm vol
Lambda 0.89
CO 4.5 % vol
CO2 3.54 % vol

Figura 60 Scontrino riportante i risultati della misurazione

Il primo risultato di tutte le analisi che vengono condotte prende il nome di valutazione dei parametri ambientali ed è ottenuto analizzando l'aria della cella motore, lasciando il tubo di prelievo disinserito dalla sonda ed appoggiato alla maniglia della porta tagliafuoco ad una altezza di circa 60cm da terra. I valori dei parametri ambientali consistono nella concentrazione di *CO cor*, *Lambda*, *HC*, *CO*, CO_2, O_2 ed NO_X presenti nell'atmosfera della cella motore (aria di diluizione o aria aspirata dai motori in prova) e che eventualmente sono sottratti ai valori dei risultati successivi.

La valutazione dei parametri ambientali è condotta ogni qual volta che si passa da una modalità di prova all'altra (cioè dal minimo al massimo).

La lista di tutti i risultati memorizzati viene stampata premendo dapprima il tasto F3 e successivamente il tasto di stampa F2 (Figura 60).

6.1.7.2 Preparazione della miscela

Il carburante speciale viene prelevato dal bidone in cui è contenuto attraverso una pompa a stantuffo azionata manualmente da una piccola leva, ed immessa in un contenitore cilindrico da 1litro, graduato con tacche da 10 ml.

La miscelazione con i vari lubrificanti, si effettua attraverso la pesatura con una bilancia elettronica, dapprima della buretta contente il carburante e successivamente di quella contenente l'olio lubrificante e il tutto è poi miscelato (Tabella 32).

	unità	valore densità	g			
			2%	3%	4%	5%
Castrol Garden Synthetic 2T Oil	g/cm³	0,865	17,300	25,950	34,600	43,250
Castrol Greentec XTS	g/cm³	0,935	18,700	28,050	37,400	46,750
HVA 2 -Stroke low smoke	g/cm³	0,865	17,300	25,950	34,600	43,250
STIHL HT Plus Bio	g/cm³	0,943	18,860	28,290	37,720	47,150
STIHL TT/N	g/cm³	0,880	17,600	26,400	35,200	44,000

Nota 1 litro di benzina speciale UTG 96 pesa 730,6 g

Tabella 32 Calcolo dei grammi di lubrificante da immettere nella benzina alle varie % di miscelazione

Per la valutazione della quantità di lubrificante espressa in grammi, che deve essere immessa nella benzina si esegue la seguente elaborazione:

$$1\,litro : 100\% = x\,litri : \%miscela$$

$$Q_{lubrificante} = \frac{1\,litro \cdot \%miscela}{100} \cdot densità\,lubrificante \cdot 1000$$

dove:
$Q_{lubrificante}$ è la quantità (g) di lubrificante da immettere nella buretta;
%miscela è la percentuale di miscelazione (nel nostro caso il 3%);
1000 è il fattore di conversione da cm^3 a dm^3.

Equazione 24 Calcolo della quantità di lubrificante da miscelare con il carburante

Nel corso della sperimentazione, al fine valori di emissioni confrontabili, è stato utilizzato un rapporto di miscelazione pari al 4%, per tutti i test svolti[180].

[180] In base a quanto previsto dalle specifiche del costruttore dell'ALPINA P500

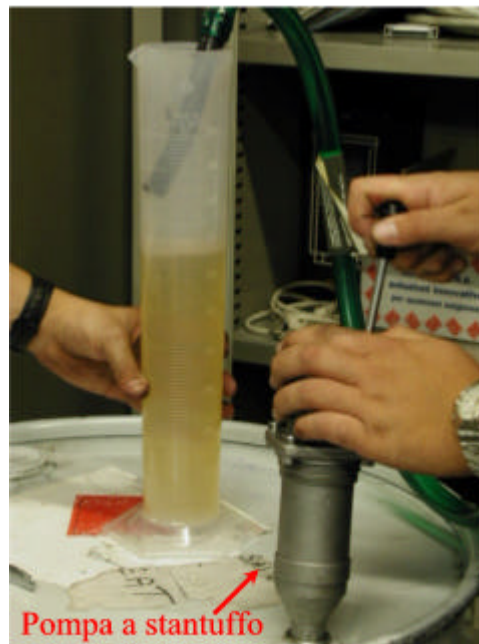



Figura 61 Prelievo del carburante speciale dal fusto

La miscela così preparata è immessa nel serbatoio del circuito del carburante per la valutazione dei consumi tramite un imbuto.

In seguito aprendo i 3 rubinetti del circuito, uno del serbatoio e due lungo la tubazione, si permette alla miscela di fluire dai tubi fino al carburatore della macchina e nella buretta da 25cm^3. In quest'ultima il livello raggiunto dal carburante corrisponde a quello della miscela contenuta nel serbatoio grazie al principio dei vasi comunicanti. Pertanto la buretta graduata oltre alla valutazione dei consumi, consente anche di stimare la quantità di carburante contenuta nel serbatoio, in quanto il livello della miscela in quest'ultimo e quello nella buretta si dispone lungo una linea piezometrica pressoché orizzontale, date le minime perdite di carico.

6.1.7.3 Valutazione dei parametri ambientali della cella motore

La direttiva impone che le condizioni di prova del motore soddisfino alcune relazioni. Per verificare la compatibilità delle caratteristiche ambientali della cella motore

con quelle riportate dalla normativa in esame è necessario determinare il parametro f_a nel modo riportato nell'Equazione 21.

$$f_a = \left(\frac{99}{p_S} \right) \times \left(\frac{T_a}{298} \right)^{0,7}$$

dove:
p_S rappresenta la pressione atmosferica in kPa (chilopascal);
T_a rappresenta la temperatura assoluta dell'aria di alimentazione del motore espressa in K (gradi kelvin).

Equazione 25 Determinazione del parametro f_a

Affinché una prova sia riconosciuta valida, il parametro f_a deve soddisfare la relazione seguente (Equazione 26):

$$0,96 \leq f_a \leq 1,06$$

Equazione 26 Valutazione della conformità dei parametri ambientali

Pertanto nel corso della sperimentazione sono stati rilevati alcuni parametri ambientali come l'umidità relativa, la temperatura in °C e la pressione atmosferica in mmHg (millimetri di mercurio). Per poter valutare tali parametri, nella cella motore si trova un igrometro per la misura dell'umidità relativa, un barometro per la valutazione della pressione atmosferica ed un termometro a mercurio.

Nella tabella che segue sono riportati i parametri ambientali rilevati durante alcune delle giornate di lavoro:

data	Umidità Relativa U_R [%]	Temperatura T [°C]	Temperatura assoluta (1) T_a [°K]	Pressione atmosferica P [mmHg]	Pressione atmosferica (2) P_S [kPa]	f_a
15/07/2004	49,0	27	300,16	762,5	101,667	0,979
28/07/2004	49,5	27	300,16	760,0	101,333	0,982
18/02/2005	40,0	23	296,16	759,5	101,267	0,973
23/02/2005*	52,5	23	296,16	759,5	101,267	0,973
23/02/2005*	50,0	23	296,16	759,5	101,267	0,973
23/02/2005*	49,0	23	296,16	759,5	101,267	0,973

(1) La conversione da °C a °K si ottiene applicando la seguente formula:

°K = °C + 273,16

(2) La conversione da mmHg a kPa si ottiene svolgendo le seguenti operazioni:
dato che: 1 atm = 1,01× 10^5 Pa = 101 kPa = 760 mmHg
101 kPa : 760 mmHg = x kPa : 757 mmHg
x kPa = (101 kPa × 757 mmHg) / 760 mmHg = 100,60 kPa

quindi 757 mmHg corrispondono a 100,60 kPa

* Più prove nel corso della stessa giornata. Gli altri rilevamenti sono stati omessi in quanto identici a quelli gia inseriti (Confronta il Paragrafo 7.1)

Tabella 33 Rilevamento dei parametri ambientali della cella motore

Come si osserva dalla Tabella 27, il parametro fa soddisfa sempre la condizione:

0,96 = fa = 1,06

Pertanto tutte le prove condotte nella cella motore del laboratorio di “Macchine ed Aeronautica” dell’Università della Sapienza possono ritenersi valide ai fini della direttiva 2002/88/CE.

6.1.7.4 Avviamento della macchina

Per la messa in moto della motosega è stato rispettato quanto riportato nel libretto di uso e manutenzione della macchina. Prima di ogni accensione si è sempre verificato che l’interruttore di STOP ed il freno catena non fossero inseriti. Per l’avviamento a freddo della macchina è stato necessario dapprima tirare fino in fondo la leva dello STARTER in modo tale da chiudere l’aria ed avere quindi una miscela aria-combustibile entrante nel cilindro più ricca, favorendo così la detonazione. Tirando la leva dello STARTER rimane

inserito anche il fermo dell'acceleratore. Successivamente si afferra l'impugnatura dell'avviatore e si danno alcuni strappi decisi finché il motore non dà qualche scoppio, dopodiché si fa rientrare la leva dello STARTER; il fermo acceleratore rimarrà comunque inserito. A questo punto si tira nuovamente l'impugnatura dell'avviatore fino alla messa in moto della macchina.

Tale situazione viene mantenuta fino a quando il motore non si è riscaldato, dopodiché viene portato al minimo premendo con il palmo della mano la leva di sicurezza e contemporaneamente anche l'acceleratore.

Per l'avviamento a caldo si tira la leva dello STARTER fino alla fine della corsa e subito dopo la leva stessa viene riportata nella posizione iniziale; in tal modo si inserisce il fermo dell'acceleratore. A questo punto si tira con alcuni strappi decisi l'impugnatura dell'avviatore fino alla messa in moto della macchina. La macchina si arresta portando l'interruttore in posizione di STOP.

6.1.7.5 Carburazione

La prima carburazione viene effettuata dalla casa costruttrice su tutte le macchine. Tuttavia si è reso necessario un aggiustamento speciale per un utilizzo della macchina alle condizioni ambientali in cui si conducevano le prove. Benché la carburazione debba essere sempre eseguita con la barra e la catena montata sulla motosega, nel nostro caso questo non'è stato possibile poiché tali dispositivi sono stati rimossi per consentire l'accoppiamento al freno[181].

La carburazione delle macchine è effettuata all'inizio del ciclo di prova e non più modificata nel corso dei test, in modo da ottenere, per ciascuna motosega, valori di emissioni confrontabili.

[181] Direttiva 2002/88/CE – Allegato VII, Appendice 3

La carburazione è effettuata attenendosi a quanto riportato nei manuali d'uso e manutenzione delle macchine, agendo sulle tre viti di regolazione del carburatore[182]:

* vite "*T*": vite di regolazione dell'apertura della farfalla;
* vite "*L*": vite di regolazione del getto del minimo;
* vite "*H*" di regolazione del getto del massimo.

Dapprima si esegue la regolazione del minimo avvitando fino in fondo la vite di registro del getto minimo, che si trova in un foro sul carter della macchina con affianco stampato la sigla L, dopodiché si svita la stessa di circa 1 giro. Con il motore al minimo si avvita tale vite lentamente, fino a quando il motore non aumenta di giri; non appena accenna a diminuire si ferma l'avvitamento e si svita di ¼ di giro. A questo punto intervenendo sulla vite di regolazione della farfalla, collocata anch'essa in un foro sul carter con stampato vicino la sigla T, si accerta che il giunto per l'assorbimento di coppia non giri. Nella realtà, con le macchine assemblate, la catena delle motoseghe non dovrebbe girare.

La regolazione del massimo si effettua invece accelerando completamente il motore ed avvitando lentamente la vite di registro del getto massimo (H) fino a che il motore non cessa di emettere il tipico rumore dei 4 tempi. Si svita perciò la stessa di ¼ di giro fino a che il motore non riprende il rumore dei quattro tempi.

La carburazione delle macchine da provare è considerata regolare quando si verificano le seguenti condizioni:

* accelerando, il motore aumenta subito di giri ed al massimo emette il tipico rumore dei 4 tempi;

---

[182] Confronta il Paragrafo 1.1.2, Figura 5

* al minimo il giunto elastico per l'assorbimento della coppia che collega l'albero motore della macchina con l'asse del rotore del freno, non gira ed il motore rimane in moto illimitatamente.

La motosega ALPINA P500 era caratterizzata da un certo numero di ore di utilizzo e pertanto non si è reso necessario il rodaggio, avente lo scopo di stabilizzare i parametri del motore.

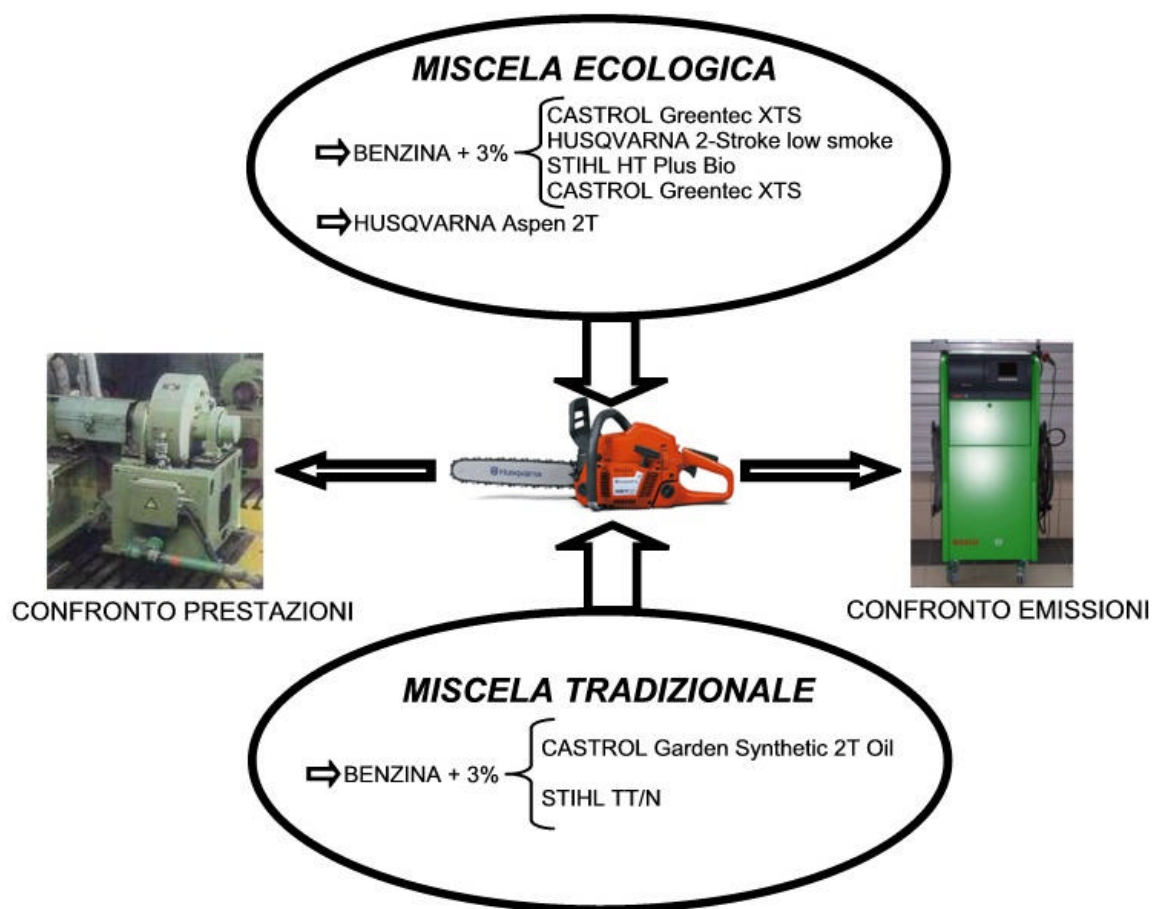



Figura 62 Schema dello svolgimento dei test. La verifica delle prestazioni non si è svolta a causa dei problemi riscontrati al banco freno

6.1.8 Esecuzione della prova per la valutazione delle emissioni

Come descritto precedentemente, la direttiva propone che il motore sottoposto venga fatto funzionare al dinamometro conformemente a quanto riportato nel ciclo G3[183]. Questo ciclo prevede due modalità di prova: uno al minimo con lo 0% del carico applicato, ed uno a regime nominale con il 100% del carico applicato.

[183] Confronta il Paragrafo 4.8.3

Per l'esecuzione delle prove, la macchina viene dapprima messa in moto e successivamente viene rimosso il tappo della derivazione ad Y dell'innesto speciale, per consentire l'inserimento della sonda di prelievo dell'analizzatore Bosch che momentaneamente è scollegata dal tubo flessibile dell'analizzatore.

Le macchine una volta avviate vengono fatte riscaldare al minimo numero di giri (condizionamento del motore) fino a quando i parametri del motore non si sono stabilizzati, dopodiché ha inizio il prelievo dei gas di scarico.

6.1.8.1 Prima modalità di prova: massimo numero di giri con il 100% del carico applicato

Successivamente alla memorizzazione del risultato 1, corrispondente alla valutazione dei parametri ambientali, un operatore agisce sull'acceleratore portando la macchina ad un numero di giri intermedio, mentre un altro operatore posto nella camera di controllo di fronte al pannello di comando del freno Schenck, distribuisce un po' di carico ruotando in senso orario il potenziometro R1. A questo punto è fatto cenno al primo operatore di portare la leva dell'acceleratore della macchina a fine corsa, bloccandola con una fascetta serracavo, mentre il secondo operatore distribuisce il carico in una quantità tale da frenare l'albero motore al numero di giri voluto e indicato sugli indicatori P1 e P2 del pannello di comando del freno. Quest'ultimo valore corrisponde al numero di giri in cui si esplica la coppia massima e cioè il 100% del carico. Il numero di giri alla coppia massima utilizzato è quello dichiarato dalla ALPINA, e pari a circa 2000 giri al minuto.

Lo scopo della procedura di applicazione del carico di cui sopra è quello di evitare di far procedere le macchine al massimo numero di giri per un elevato intervallo di tempo, al fine di ridurre le probabilità di rottura dei motori e dei componenti posti in rotazione.

Ritornando all'analisi dei gas di scarico, durante il funzionamento della macchina a regime nominale con il 100% del carico applicato, avviene l'inserimento del tubo flessibile

di prelievo sulla sonda dell'analizzatore avvitata nell'innesto speciale per i tubi di scappamento delle macchine.

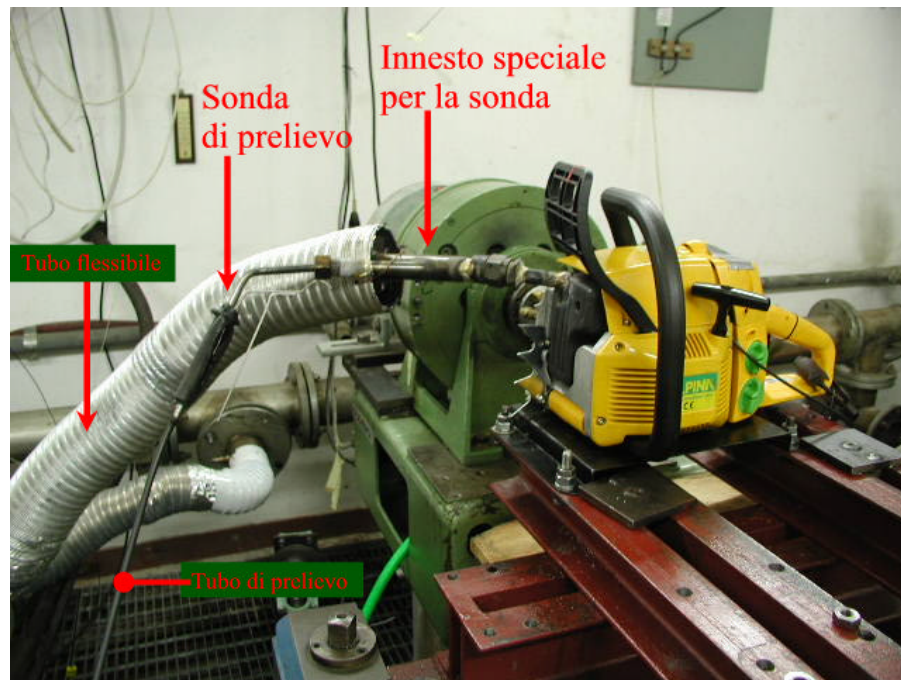



Figura 63 Macchina al banco

Prima della memorizzazione di questi valori con l'apposito tasto F3 dell'analizzatore, si attende per un intervallo pari a 60 secondi. Infatti la proposta di modifica impone un tempo minimo di campionamento di 180 secondi e stabilisce che i valori misurati sono attendibili solo durante gli ultimi 120 secondi del rispettivo tempo di campionamento. Questa attesa è sufficiente a garantire il raggiungimento della stabilità termica del motore prima dell'inizio del campionamento. Dopo questo tempo di stabilizzazione i valori sono memorizzati ad intervalli di 60 secondi circa, in modo da avere una serie di valori confrontabili. In genere per ogni macchina sono stati memorizzati 7 risultati. Tutti i risultati ottenuti dalla prova vengono visualizzati premendo F2 e stampati con F3. Per la stima del tempo viene usato un cronometro da polso.

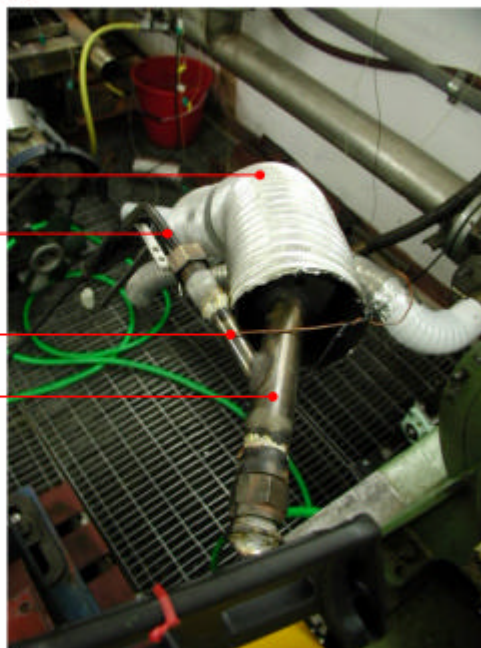



Figura 64 Collegamento alla sonda dell'analizzatore e alla cappa aspirante

6.1.8.2 Seconda modalità di prova: minimo numero di giri con lo 0% del carico applicato

Dopo aver memorizzato i risultati della prima modalità di prova, si sfila il tubo flessibile dalla sonda e se ne effettua il lavaggio (insufflando al suo interno aria compressa), reinserendolo successivamente nel sistema di prelievo, collegato alla macchina che procede al minimo numero di giri. A questo punto sul display dell'analizzatore nella finestra "valori misurati", inizia la misurazione continua dei parametri *CO cor*, *Lambda*, *HC*, *CO*, CO_2, O_2 ed *NO*.

Anche in questa modalità di funzionamento i risultati utili si avranno dopo un periodo di condizionamento del motore di 60 secondi e la memorizzazione di questi avverrà ogni 30 secondi circa. Per ogni macchina sono stati memorizzati mediamente 7 risultati.

6.2 Valutazione dell'esposizione personale agli inquinanti aereodispersi presenti nel gas di scarico emesso dalle attrezzature portatili

La rilevazione dell'inquinamento chimico consiste in una serie complessa di operazioni che consentono di poter definire le condizioni di inquinamento da agenti chimici

eventualmente presenti nell'aria di un ambiente di lavoro. Tale operazione, indicata anche come “monitoraggio ambientale” permette di arrivare a conoscere le concentrazioni delle varie specie chimiche aerodisperse.

Il primo passo nella determinazione degli inquinanti presenti nel luogo di lavoro e quello di ricercare in un ambiente di lavoro, consiste nella consultazione delle schede di sicurezza di tutti i materiali, sostanze o prodotti utilizzati nel processo produttivo[184].

Individuate le sostanze inquinanti, occorre procedere al successivo campionamento dell’aria dell’ambiente di lavoro e alla conseguente analisi di laboratorio[185], al fine di conoscere in che quantità (concentrazione) la sostanza ricercata è presente nell’aria.

Al fine di stabilire, quindi, se le concentrazioni rilevate rispettano le condizioni di salubrità di un ambiente di lavoro, viene effettuata una verifica con degli indici di riferimento, ovvero tramite standards di qualità dell’aria che rappresentano i livelli di esposizione accettabili da parte dei soggetti lavoratori esposti[186].

Nel nostro ambito di ricerca, sono stati impiegati i due analizzatori portatili della Recom Industriale[187]: il *MultiRAE PGM-50 plus* e *l’UltraREA PID PGM-7200*. Inoltre si è impiegata una centralina meteorologica *BABUC* M, per i rilievi effettuati in località prive di una stazione meteorelogica. Il *MultiRAE PGM-50 plus* e *l’UltraREA PID PGM-7200* sono impiegati per controllare l’esposizione agli agenti chimici nell’ambito dell’ igiene industriale, ma possono avere anche altre applicazioni. Nel presente lavoro, questi sensori sono stati impiegati per campionare l’aria respirata dall’operatore durante le operazioni di utilizzazione forestale e di manutenzione del verde urbano e periurbano.

La ragione per la quale sono stati impiegati contemporaneamente i due analizzatori

---

[184] Nel mostro ambito è opportuno ottenere le schede di sicurezza della benzina e del lubrificante impiegato per l’alimentazione delle attrezzature

[185] L’analisi di laboratorio non’è necessaria nel momento in cui si dispone di analizzatori portatili in grado di fornire in tempo reale i valori di concentrazione degli aereodispersi

[186] Confronta il Paragrafo 4.7

[187] Recom Industriale srl

Recom, sta nel fatto che essi rilevano diverse tipologie di gas tossici. Con il MultiRAE rileviamo le concentrazioni di *CO* e di VOC, mentre con l'UltraRAE quelle di *Benzene*.

Per campionamento si intende un processo attraverso il quale si preleva un dato volume di aria, per mezzo di un dispositivo filtrante. L'aria filtrata viene trattenuta per essere analizzata, ed il volume d'aria insieme ad una certa quantità di contaminante, darà una concentrazione espressa in mg/m^3 o in ppm.

6.2.1 MultiRAE PGM 50 plus

Il MultiRAE PGM-50 Plus è un monitor multi gas programmabile che consente il monitoraggio continuo in tempo reale di gas tossici, ossigeno e gas combustibili. Inoltre può essere programmato in modo da avvisare l'operatore del superamento dei limiti impostati attraverso un allarme acustico e visivo. Quindi assolve anche alla funzione di esposimetro personale. Questo monitor permette di rilevare le seguenti classi di gas:

1. composti organici con il sistema di analisi a lampada PID[188];
2. composti inorganici con sensori elettrochimici;
3. gas combustibili con sensore catalitico.

Lo strumento si presenta come un involucro compatto e leggero (Figura 65), e quindi ancorabile alla cinta dell'operatore, dotato di 3 tasti di interazione, di cui uno operativo e due di programmazione e di un display LCD[189] retroilluminato con 2 linee e con 16 digitali che fornisce le misurazioni calcolate in tempo reale. Fanno parte del corredo dello strumento anche una cinghia da polso, una presa per l'alimentazione diretta di corrente tramite trasformatore 12V (Volt), utilizzabile anche per ricaricare le batterie, un pacco batterie contenente 4 pile stilo ricaricabili ed una clip per l'applicazione alla cintura dell'operatore. Lo strumento può essere collegato ad un computer per lo "scarico" dei dati

[188] PID è l'acronimo di Photo Ionization Detector, cioè di sistema di rilevamento a raggi ionizzanti o a fotoionizzazione
[189] LCD, *Liquid Crystal Display* cioè monitor a cristalli liquidi

e per la sua configurazione, attraverso una porta di comunicazione seriale per l'interfaccia al PC.

Per accendere il monitor è necessario mantenere premuto il tasto "MODE" e successivamente sul display LCD apparirà, il numero di modello, il numero della serie, la data, l'ora e la temperatura. Sempre sul display, si controlla se sono stati installati sensori validi. Successivamente sullo schermo compaiono, i limiti prefissati dall'allarme per ogni sensore, il voltaggio batteria, la tensione di spegnimento, le modalità dell'utente, l'allarme, la memoria dei dati validi (in ore) e le modalità e l'intervallo datalog[190] (in secondi). Dopo circa 10 secondi il display mostra la lettura istantanea della concentrazione di gas in ppm. Il monitoraggio del gas avviene in quest'ultima fase in cui si memorizzano i seguenti parametri:

* concentrazione istantanea in tempo reale dei gas, espressa in ppm per i gas tossici ed i VOC, in %di volume (%vol) per l'ossigeno ed in %vol di LEL per i gas combustibili;
* nomi di sensori inseriti;
* concentrazione massima e minima di gas tossici, VOC, ossigeno e gas combustibili;
* valori TLV/TWA e TLV/STEL in ppm per gas tossici e VOC;
* tensione della batteria e tensione di spegnimento espresse in Volt;
* data, ora, tempo trascorso e temperatura;
* modalità di "Datalog";
* nomi dei gas VOC o LEL (se vengono installati i sensori VOC e LEL);
* menù di stampa (con stampante RAE);

[190] Il Datalog è la memoria interna dello strumento che memorizza le concentrazioni dei gas in funzione della data, dell'ora e del tempo di campionamento

* menù di comunicazione con il PC.

Lo spegnimento del sensore si effettua mantenendo premuto per 5 secondi il tasto "MODE". Durante lo spegnimento i dati del datalog sono protetti su una memoria non volatile, ed anche a batteria disconnessa, i dati non vanno persi. Il monitor Multi Gas MultiRAE calcola e memorizza le letture dei gas basate sul periodo di datalog specifico e sul tipo di misurazione. Nel modello utilizzato in questa sperimentazione durante ogni intervallo del datalog e per ogni sensore è stata programmata la memorizzazione della concentrazione media.

L'aspirazione dei gas avviene per mezzo di una pompa a membrana, posta all'interno dello strumento, che fornisce un flusso massimo di 250cm^3 al minuto e riesce ad aspirare campioni d'aria fino a 30 m in senso orizzontale e verticale. Durante l'accensione dello strumento la pompa si avvia automaticamente rimanendo attiva fino al suo spegnimento. La calibrazione del flusso che passa attraverso il sistema di campionamento è importante e deve essere sempre verificata prima e dopo il campionamento. La taratura standard prevede un pompaggio di 150cm^3 al minuto, ma per vapori particolarmente reattivi o facilmente assorbiti dalle superfici dello strumento, è necessario che la pompa lavori alla sua massima velocità. La regolazione può essere facilmente eseguita dall'utente, accedendo al menù di programmazione dello strumento. La maggiore velocità della pompa ha però degli svantaggi, come la riduzione della durata delle batterie e del sensore catalitico. Una trappola automatica per i liquidi, protegge infatti la pompa da una loro accidentale aspirazione e blocca il funzionamento del sensore. Vi è inoltre un filtro anti-umidità all'ingresso del misuratore, che serve a purificare i gas aspirati se troppo umidi.

Il microcomputer all'interno del MultiRAE PGM-50 Plus effettua un continuo monitoraggio delle concentrazioni dei gas, raffrontandole con i limiti di allarme

programmati. Sono presenti quattro soglie di allarme impostate e modificabili dall'utente, queste sono: un TLV/TWA, un TLV/STEL e due limiti di concentrazione immediata di gas, uno inferiore ed uno superiore.

Sensore	Campo di misura	Risoluzione	Tempo di risposta (t_{90})
Ossigeno	0-30 %	0,1 %	15 sec
Esplosività	0-100 %	LEL 1 %	15 sec
Voc	0-200 ppm	0,1 ppm	10 sec
	200-2.000 ppm	1 ppm	10 sec
Acido cianidrico	0-100 ppm	1 ppm	60 sec
Ammoniaca	0-50 ppm	1 ppm	150 sec
Anidride solforosa	0-20 ppm	0,1 ppm	15 sec
Biossido di azoto	0-20 ppm	0,1 ppm	25 sec
Cloro	0-10 ppm	0,1 ppm	60 sec
Fosfina	0-5 ppm	0,1 ppm	60 sec
Idrogeno solforato	0-100 ppm	1 ppm	30 sec
Ossido di azoto	0-250 ppm	1 ppm	20 sec
Ossido di carbonio	0-500 ppm	1 ppm	20 sec

Tabella 34 Campo di misura e tempo di risposta del MultiRAE PGM 50 plus per singolo gas rilevabile in base al sensore installato

Al loro superamento si attivano un forte cicalino ed un led rosso lampeggiante, che avvertono circa la condizione d pericolo. Questi sistemi di allarme acustico-visivi, sono attivati anche nel caso in cui il voltaggio della batteria sia al di sotto di quello stabilito (4,4V), ci sia un guasto della lampada UV, allo spegnimento del sensore catalitico, al blocco della pompa e quando la memoria del datalog sia piena. Per una maggiore precisione delle misurazioni, lo strumento va tarato prima e dopo il suo utilizzo. L'operazione definita di "zero" e di "span", richiede pochi minuti.

6.2.2 UltraRAE PID PGM 7200

L'*UltraRAE PGM 7200* è un monitor con sensore a fotoionizzazione (PID), cioè un rilevatore specifico di composti organici, programmabile sul tipo di gas da misurare, in

grado di fornire il valore dell'esposizione istantanea del lavoratore, al gas in questione.

Esso effettua il rilievo dell'inquinante utilizzando un tubo di separazione dei gas (fiala RAE-Sep™) ed un rilevatore a fotoionizzazione PID[170], con lampada a scarica di gas da 9,8eV, 10,6eV oppure 11,7eV. Per il rilevamento dei *VOC* (composti organici volatili[53]), lo strumento adotta un tubo ad attraversamento diretto ed il PID, come rilevatore a banda larga.

Con questo strumento, si effettua pertanto un campionamento con fiala adsorbente; l'aria che passa per la fiala viene trascinata attraverso l'adsorbente che cattura le molecole di gas e vapore. L'adsorbente è contenuto in un tubo di vetro di piccolo diametro con le estremità sigillate a fiamma, che conferisce una maggiore stabilità del composto adsorbente stesso, oltre che una maggiore durata nel tempo (Figura 49). Nell'UltraRAE PID PGM-7200, la fiala ha semplicemente lo scopo di trattenere tutte le sostanze organiche presenti nei gas di scarico come ad esempio il toluolo, che interferirebbe nella misurazione, lasciando passare solo il composto organico di cui si vuole conoscere la concentrazione nell'ambiente.

Figura 65 MultiRAE PGM 50 Plus

Dimensioni	11,8 x 7,6 x 4,8cm
Peso	454 g con batterie
Principio di misura	sensore catalitico per gas combustibili (protetto); sensori elettrochimici intercambiabili per ossigeno e gas tossici; sensore a fotoionizzazione PID per VOC, lampada standard 10,6 eV
Batterie	pacco batterie ricaricabili a ioni di litio, adattatore per 4 batterie alcaline AA sostituibili in campo; carica batterie intelligente; scarica batterie opzionale
Tempo di ricarica	10 ore
Autonomia	12 ore in continuo. Lo strumento può essere utilizzato anche durante la ricarica
Display	2 linee, a cristalli liquidi (LCD) con 16 digit e LED, retroilluminazione automatica in caso di luce ambientale insufficiente o in condizioni di allarme
Tasti funzione	1 operativo e 2 per programmazione.
Accessori per trasporto e protezione	clip per cintura, cinghietta per il polso e custodia di protezione in gomma colorata ad alta visibilità.
Lettura diretta	valori istantanei (fino a 5); ossigeno in % in volume; gas combustibili in % del Limite Inferiore di Esplosività (LIE o LEL); gas tossici e VOC in parti per milione (ppm); valori limite superiori e inferiori; valori STEL e TWA per gas tossici e VOC; stato di carica e interruzione delle batterie; data; ora; tempo di utilizzo trascorso; temperatura; scala LEL/VOC (utilizzando i fattori di correzione)
Certificazioni	Eex ia IIC T4 (Europa) - UL®, cUL®, Classe 1. Divisione 1, Gruppi A, B, C & D (USA & Canada).
Allarmi	acustico a 90 dB e LED rosso intermittente per indicare il superamento dei limiti prefissati: allarme superiore: 3 beep e 3 lampeggi al secondo; allarme inferiore: 2 beep e 2 lampeggi al secondo; STEL e TWA: 1 beep e 1 lampeggio al secondo; allarmi con autoritenuta a ripristino manuale o reset automatico; allarme diagnostico e messaggio sul display per inizio esaurimento delle batterie e per blocco della pompa
Taratura:	2 punti di taratura (zero e span)
Datalogging	20.000 punti (64 ore, 5 canali con intervalli di 1 minuto) con possibilità di trasferimento dati su PC, con numero di serie dello strumento, dati identificativi dell'utente, numero del sito e data della taratura
Comunicazione	trasferimento dei dati e setup dello strumento da PC tramite RS-232
Intervallo del datalogging	1 – 3.600 secondi, programmabile
Pompa di campionamento	pompa incorporata, portata 150 cc/min
Temperatura d'impiego	da – 20 a + 45°C
Umidità	da 0% a 95% di umidità relativa (senza condensa)

Tabella 35 Specifiche tecniche del MultiRAE PGM 50 plus

In questa sperimentazione, l'UltraRAE PGM-7200 è stato impiegato per rilevare la

concentrazione di benzene, e la sua configurazione prevede l'impiego del sensore PID con lampada da 9,8 eV e tubi di separazione specifici per benzene. La lampada da 9,8 eV è in grado di distinguere gli idrocarburi con un maggiore potenziale di ionizzazione (che si trovano normalmente nei vapori di petrolio greggio) ed inoltre riesce a misurare basse concentrazioni di benzene, con valori al disotto di 1 ppm. Per valutare le concentrazioni anche molto basse dei *VOC* potenzialmente tossici, bisogna impiegare la fiala *VOC* vuota. Per la misurazione di sostanze specifiche come il benzene, è necessario inserire nella parte superiore dello strumento una fiala RAE- Sep, dopo averne spezzato le due estremità. Premendo il tasto funzione “Y”, la pompa interna dello strumento aspira l'aria attraverso la fiala ed il risultato finale appare sul display, dopo 30÷75 secondi di attesa. Dopo ogni misurazione è necessario sostituire la fiala, tenendo presente che questa serve esclusivamente ad eliminare le interferenze degli altri VOC e l'umidità, e non per la misurazione. Dopo l'uso la fiala si presenta scurita a causa dell'assorbimento degli idrocarburi presenti in atmosfera. Per identificare il tipo di fiala inserita, lo strumento utilizza un lettore di codice a barre, ed il suo datalogging, registra la data, l'ora, la concentrazione, ed il tipo di fiala.

Lo strumento fornisce le misure in tempo reale ed attiva i segnali di allarme quando eccede i limiti di programmazione prestabiliti. Prima di uscire dalla fabbrica, viene regolato con limiti di allarme di default ed i sensori sono pre-calibrati con i gas standard di calibrazione.

Per una maggiore precisione delle misurazioni, lo strumento va tarato prima del suo utilizzo. L'operazione (zero e span) richiede pochi minuti. Il monitor *UltraRAE PGM-7200* è costituito dai seguenti elementi:

* 3 tasti di interazione, di cui 1 operativo e 2 di programmazione;
* 1 display LCD retroilluminato che fornisce le misure di lettura dirette e calcolate;

* 2 sistemi di allarme del superamento dei limiti, di cui un cicalino ed un led rosso lampeggiante;
* una cinghia da polso;
* una presa per l'alimentazione diretta di corrente tramite trasformatore 12 V, utilizzabile anche per ricaricare le batterie;
* 1 pacco batterie contenente 4 pile stilo ricaricabili;
* fori di ingresso e uscita del gas monitorato;
* contenitore del tubo RAE Sep (fiala) e lettore del tipo a tubo elettronico;
* una porta di comunicazione seriale con il PC;
* un clip per l'applicazione alla cintura dell'operatore.

Sostanza	CAMPO di MISURA	RISOLUZIONE	TEMPO DI RISPOSTA	GAS DI TARATURA	LAMPADA UV
	ppm	ppm	s		eV
VOC	0÷2.000	0,1 / 0÷99,9 1 / 100÷2.000	30	100 ppm isobutadiene	9,8÷10,6÷11,7
BENZENE	0÷200	0,1	75	5 ppm benzene	9,8
IDROCARBURI ALOGENATI	0÷200	0,2	Secondo sostanza	Secondo sostanza	11,7
BUTADIENE	0÷200	0,1	75	5 ppm butadiene	9,8

Tabella 36 Campo di misura e tempo di risposta dell'UltraRAE PGM 7200 plus per singolo gas rilevabile in base al sensore installato

Dimensioni	19,7 x 7 x 3,8 cm
Peso	454 g (con batterie)
Principio di misura	sensore a fotoionizzazione PID
Batterie	pacco batterie ricaricabili NiMH. Adattatore per batterie alcaline
Tempo di ricarica	10 ore, tramite caricabatteria incorporato
Autonomia	12 ore
Display	grande display digitale (LCD), retroilluminazione manuale ed automatica in caso di allarme
Tasti di funzione	1 operativo e 2 di programmazione
Accessori per trasporto e protezione	clip per cintura e custodia di protezione in gomma colorata ad alta visibilità
Precisione	+/- 10 % della lettura o +/- 0,1 ppm, se tarato con 5 ppm di benzene
Fiale RAE-Sep	sostituibili in campo, con codice a barre per identificazione, scadenza 12 mesi
Certificazioni	UL, cUL Classe I, Divisione I, Gruppo A,B,C,D & EEx ia IIC T4
Allarmi	2 livelli di allarme regolabili (default predefinito 0,5 e 1 ppm)
Allarme visivo	led rossi lampeggianti
Allarme acustico	cicalina a 90 dB
Allarme esterno	allarme a vibrazione (optional)
Taratura	2 punti di taratura (zero e in campo) 5 ppm benzene
Datalogging	3.000 punti con possibilità di trasferimento dati su PC. Con: numero dei campionamenti; tipo e lettura del gas; media, picco, data e ora; numero di serie dello strumento; dati identificativi dell'utente e numero del sito
Comunicazione	trasferimento dei dati e setup dello strumento da PC tramite RS-232
Pompa di campionamento	interna. Flusso di 400 cc/min. Allarme per riduzione della portata
Temperatura d'impiego	da 0 a 40°C
Umidità	da 0 % a 95 % di umidità relativa (senza condensa)

Tabella 37 Specifiche tecniche dell'UltraRAE PGM 7200

Figura 66 Fiale RAE Sep per il campionamento. ➔Fiala vuota per la valutazione della concentrazione dei VOC

Ultra RAE PID PGM 7200

Fiala RAE Sep per il benzene prima dell'uso (estremità ancora integre e colore dell'absorbente arancione)

Fiala RAE Sep dopo l'uso (estremità rotte e colore dell'estremità dell'absorbente inscurite per il filtraggio dei composti chimici organici)

Nota
Anche da un analisi visiva della fialetta è possibile stimare se l'atmosfera di lavoro presenta un'elevata concentrazione di idrocarburi. Basta infatti osservare il grado di "inscurimento" della stessa

Figura 67 Ultra RAE PID PGM 7200 e fiale selettive

6.2.3 Stazione meteo BABUC M

È uno strumento per l'acquisizione di grandezze meteo-climatiche ed ambientali (Figura 68). Ha dei consumi energetici ridottissimi, e quindi è dotato di una elevata autonomia. In questa sperimentazione è stato impiegato il modello BABUC/M prodotta dalla *LSI Laboratori di Strumentazione Industriale s.p.a*. per la misurazione dei parametri climatici (temperatura, umidità relativa e velocità del vento). Quest'apparecchiatura consente l'acquisizione, visualizzazione, memorizzazione ed elaborazione di grandezze ambientali; è un multiacquisitore a 6 ingressi , con possibilità di memorizzare fino a 5.000

campioni. Per misurare l'umidità relativa e la velocità del vento, sono applicati rispettivamente una sonda igrometrica ed un anemometro, collegandoli agli ingressi dello strumento. Il BABUC/M è in grado di visualizzare in tempo reale i parametri termoigrometrici e la velocità del vento rilevati. La stazione è anche in grado di memorizzarli, per poi trasferirli su PC tramite apposita interfaccia. Ai fini di questo lavoro si è utilizzata la modalità di visualizzazione dei dati in tempo reale, rilevando ed appuntando sul taccuino; i valori medi delle condizioni ambientali nell'intervallo di tempo in cui si è fatto il rilievo dei gas di scarico.

Il BABUC una volta installato, è collocato in prossimità dell'area in cui si esegue il campionamento dei gas di scarico in modo da apprezzare in quale modo i parametri ambientali influenzano le concentrazioni degli agenti tossici nell'aria respirata dal lavoratore.

Figura 68 Centralina microclimatica BABUC M

6.2.4 Metodologia di campionamento

La metodologia di campionamento ha seguito nel corso della sperimentazione uno sviluppo e una ricerca continua, allo scopo di adattarsi sempre più alle tipologie di attività che prevedono l'uso di attrezzature portatili, quali le motoseghe e i decespugliatori.

Infatti la “letteratura” presenta molte informazioni riguardo le idonee procedure per eseguire la valutazione del rischio di esposizione agli inquinanti aerodispersi, alcune delle quali sono state sviluppate in forma di norme tecniche[191], ma tali note riguardano esclusivamente l’ambiente industriale o della cantieristica edile. Nulla emerge riguardo l’applicazione di questa problematica alle utilizzazioni forestali e alla manutenzione del verde urbano e periurbano.

Pertanto i protocolli della valutazione, nonché le attrezzature impiegate, sono state adattate o reinterpretate alle condizioni di lavoro studiate che differiscono da quelle industriali, a causa dei seguenti aspetti:

1. posizione e postura dell’operatore che muta in continuazione a causa della ricerca del punto giusto ove tagliare;
2. accidentalità e acclività dell’area in cui si opera (quasi sempre boschi e foreste in zona collinare-montana), che determinano un aumento del ritmo respiratorio e di conseguenza del volume d’aria inspirato e quindi anche di quello degli inquinanti presenti;
3. vicinanza delle vie aeree del lavoratore alla fonte di emissione;
4. impossibilità di prevedere l’adozione di attrezzature complementari a basso livello di inquinamento (ad esempio motoseghe e decespugliatori elettrici), visto l’attuale sviluppo tecnologico;
5. impossibilità di far adottare idonei DPI ai lavoratori (maschere facciali con filtri etc.), data l’estrema difficoltà del lavoro svolto, con il rischio di renderlo ancora più oneroso con l’applicazione di questi dispositivi.

[191] Confronta i Paragrafi 4.1, 4.2 e 4.5

Quindi durante il triennio della sperimentazione, l'attività più laboriosa è stata quella di "piegare" le metodologie e gli strumenti di campionamento industriale alla realtà forestale e di manutenzione del verde. La presente ricerca assume pertanto un aspetto pionieristico nell'ambito della valutazione in oggetto, e molte delle considerazioni, supposizioni e metodologie sviluppate, serviranno come "trampolino di lancio" per le ricerche future nello stesso ambito.

Inizialmente il campionamento dei gas di scarico veniva effettuato applicando la strumentalizzazione sulla cintura dell'operatore, grazie agli appositi clip. Questa modalità non poteva dare dei risultati accettabili, in quanto durante gli spostamenti e i movimenti dell'operatore, veniva a mancare la condizione fondamentale prevista dalle norme, cioè la vicinanza dell'analizzatore alla bocca del lavoratore[192].

Figura 69 Campionatori impiegati nella sperimentazione

In un secondo momento si è cercato di avvicinare il più possibile lo strumento alla bocca dell'operatore sorreggendolo manualmente. Il metodo è stato abbandonato perché la tipologia del lavoro, con la motosega o con il decespugliatore, rende impossibile l'avvicinamento del campionatore e soprattutto per motivi legati alla sicurezza.

[192] Confronta i Paragrafi 4.2 e 4.5

Il terzo metodo ha previsto l'impiego di una cintura con tasche in cui venivano disposti i due monitor, poi grazie ad appositi tubi (in *tedlar*) collegati al casco dell'operatore, è stato possibile effettuare il campionamento a distanza ravvicinata dalle vie aeree. Un miglioramento di questo metodo ha previsto la sostituzione della cintura con un giubbetto appositamente realizzato, che garantisce con maggiore precisione, il rilevamento e diminuisce il disagio dell'operatore.

Per la realizzazione di tale "*gilet di prelievo*", sono stati impiegati i seguenti materiali:

* giubbetto normale tipo "da cacciatore" di cotone, in misura superiore alle dimensioni dell'operatore, in modo tale da essere posto sopra l'abbigliamento di lavoro. Su questo sono state realizzate due tasche all'altezza dei reni in cui deporre gli analizzatori: lo scopo è di lasciare all'operatore maggiore libertà di movimento, non impedendo l'uso del decespugliatore spalleggiato.
* Tubi in tedlar, passanti in apposite asole realizzate sul dorso del gilet e uscenti all'altezza del collo dell'addetto, per una lunghezza di 20 cm circa[193].

6.2.4.1 Fasi del rilevamento

Una volta giunti sul luogo dove effettuare il campionamento, le fasi che portano alla realizzazione di quest'ultimo, sono riassunte nei punti seguenti:

1. Accensione degli analizzatori e sincronizzazione dei lori timer. Questa operazione è necessaria in modo da avere per ogni intervallo di tempo, i valori di concentrazione degli inquinanti misurati sia dal MultiRAE che dall'UltraRAE[194] ;
2. Calibrazione dello zero: si effettua selezionando la funzione apposita, entrando nel sottomenù che si attiva tenendo premuti contemporaneamente

[193] Confronta i Paragrafi 4.2, 4.5.2.2 e 4.6
[194] Confronta Paragrafo 6.2.4

per alcuni secondi il tasto “MODE” e quello “Y”. L’operazione è la medesima per entrambi gli strumenti e serve a riportare al valore di 0 ppm le misure della concentrazione degli analizzatori in essi inseriti. Tale operazione deve essere condotta in un ambiente privo di inquinanti, cioè all’aria aperta, in modo da non avere perturbazioni nei campionamenti;

3. Si applica all’operatore alla motosega o al decespugliatore, il “*Gilet di Prelievo*”;
4. Si collocano gli analizzatori nelle apposite tasche del Gilet e si collegano le estremità, ai tubi di rilevamento;
5. Si avvia il MultiRAE e si inserisce una nuova filale nell’UltraRAE. Quest’ultimo, dato che non effettua misure in continuo, si accende ad intervalli regolari, rilevando la concentrazione di benzene media in un minuto;
6. Al termine del campionamento si spengono i due analizzatori, si calibra il valore di “0” e si libera il lavoratore degli indumenti di rilievo.
7. I dati raccolti sono scaricati su PC, attraverso l’applicazione fornita insieme ai campionatori, “Pro RAE Suite”. Il listato dei valori di concentrazione degli inquinanti considerati e misurati nell’intervallo di tempo del campionamento, possono essere stampati o trasferiti su foglio di calcolo *Microsoft Excel*, per l’elaborazione.

Il tempo di campionamento è di circa 20 minuti per ciascuna prova e nel corso della giornata sono stati eseguiti fino a quattro rilevamenti.

❶ Analizzatori posizionati in prossimità del lavoratore
❷ Analizzatori fissati alla cinta del lavoratori
❸ ❹ Analizzatori inseriti nella cinta porta attrezzi con tubicini di prelievo

Figura 70 Evoluzione nei sistemi di rilevamento

Per il benzene si effettuano un numero di campionamenti che va da uno a tre per prova. I campionamenti sono stati eseguiti presso due diverse tipologie di cantiere; la prima riguardante l'attività di utilizzazione forestale di cedui quercini (abbattimento e sezionatura del legnanme), la seconda presso cantieri per la manutenzione del verde pubblico e privato durante le operazioni di potatura, sfalcio dell'erba, piccoli abbattimenti etc. Nei paragrafi successivi sono riportati i risultati ottenuti e l'elaborazione svolta.

1. tubicini di aspirazione
2. sacche del gilet di rilevamento
3. analizzatore

Figura 71 Gilet di rilevamento

Capitolo 7. Elaborazione dei dati raccolti e confronto con i limiti normativi

7.1 Valutazione della conformità alla direttiva 2002/88/CE

Il numero e la tipologia di prove condotte sono riportate nella tabella seguente:

N.prova*	Data	Miscela ecologica a base di:
1	18/02/2005	Castrol Garden 2 T
2	15/07/2004	Husqvarna Low Smoke
3	28/07/2004	Husqvarna Aspen
4	18/02/2005	Estereco n.1
5	23/02/2005	Estereco n.2
6	23/02/2005	CastrolGreenTec XTS
7	23/02/2005	Stihl TT N (rosso)
8	23/02/2005	Stihl HT Bio Plus (verde)

Equazione 27 Prove per la valutazione delle emissioni *(non in ordine temporale ma logico)

Purtroppo l'esecuzione dei test non'è stata esente da problematiche. Infatti data l'elevata sollecitazione degli organi di collegamento della motosega ALPINA P500 al banco freno e all'analizzatore dei gas di scarico, si sono effettuate delle rotture proprio a carico di quest'ultimi elementi.

Più volte si è osservata la perdita dei rivetti di fissaggio della campana della frizione centrifuga al mozzo del giunto HRC, che ha causato un forte rallentamento delle prove[195]. Infatti la macchina è stata rimossa dal banco e si è provveduto alla riparazione del pezzo rovinato. Successivene si sono dovute ripetere tutte le operazioni di ancoraggio a quest'ultimo con un notevole dispendi di tempo ed energie.

L'altro evento accidentale è stato quello della dissaldamento dell'*adattatore* che collega il tubo di scappamento della motosega all'*innesto speciale ad "Y"*[196]. Pertanto la marmitta della macchina è stata smontata dalla sua sede e successivamente si è

[195] Confronta il Paragrafo 6.1.1.1
[196] Confronta il Paragrafo 6.1.1.3

provveduto alla saldatura a fiamma dell'*adattatore* sul silenziatore. Tale operazione ha presentato non poche difficoltà data la eterogeneicità dei materiali: alluminio per la marmitta e ferro per *l'adattatore*.

Inoltre, per evitare di dover riparare in continuazione tali organi, si è deciso di non collegare direttamente *l'adattatore* con *l'innesto speciale*, ma di interporre un elemento flessibile in modo da non scaricare tutte le vibrazioni (veramente elevate!) sul punto di saldatura. A tale scopo è stato impiegato un comune tubo flessibile dell'acqua dei sanitari.

Il nuovo sistema di aspirazione per l'analisi dei gas di scarico è così costituito:

1. *adattatore* saldato sulla marmitta della macchina;
2. *innesto speciale ad "Y"*, fissato ad un cavalletto treppiede;
3. *flessibile* di collegamento tra i due elementi.

1. *flessibile* brunito e rotto a causa del passaggio dei gas ad alta temperatura;
2. *flessibile* nuovo pronto all'installazione;
3. *buretta* rotta e opacizzata dalla benzina

Figura 72 Inconvenienti durante la sperimentazione

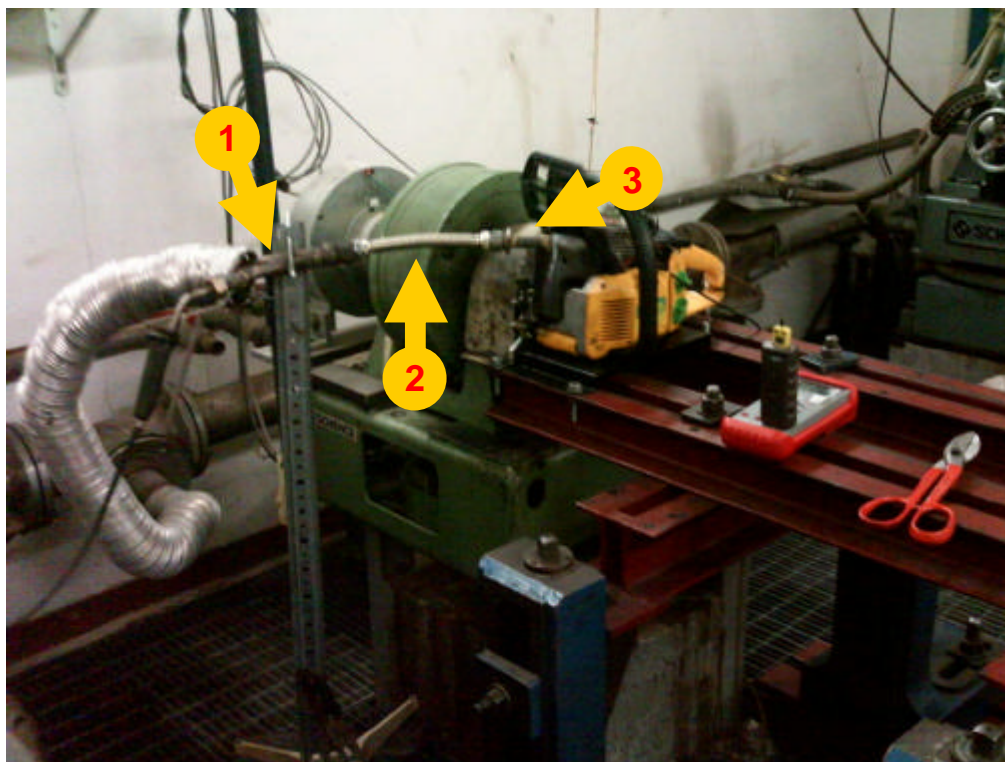
Il flessibile presenta però una rottura quasi continua (all'incirca ogni due prove) a causa dell'elevata temperatura dei gas che vi transitano (circa 300°C) e ciò richiede un continuo intervento di sostituzione con un conseguente rallentamento nell'esecuzione delle prove.

1. *innesto speciale ad Y*;
2. *flessibile*;
3. *adattatore* saldato sulla marmitta della motosega

Figura 73 Nuova disposizione del sistema di aspirazione

Nei paragrafi successivi sono riportate passo passo, tutte le fasi che portano all'ottenimento delle portate massiche d'emissione dei composti nocivi presenti nel gas di scarico emesso dalla motosega ALPINA P500 e che sono poi confrontate con il limiti imposti dalla Direttiva 2002/88/CE.

Tutta l'elaborazione è stata eseguita in fogli di calcolo dell'applicazione Excel, del pacchetto Microsoft Office.

7.1.1 Valutazione delle concentrazioni degli inquinanti

In base a quanto descritto nei Paragrafi 6.1.7 e 6.1.8, le concentrazioni medie rilevate con l'analizzatore BOSCH, per modalità di prova e per ogni specifica miscela

ecologica, sono riportate nella tabella seguente (Tabella 37). L'analizzatore fornisce anche valori in ppm che sono convertiti in %v/v, dividendoli per 10.000[197].

	Modalità di prova	HC %v/v	CO %v/v	CO_2 %v/v	NO_X %v/v
GARDEN 2T (1)	I	1,723	5,380	6,800	0,009
	II	4,170	4,633	2,076	0,009
LOW SMOKE	I	1,303	7,889	5,397	0,006
	II	2,833	4,000	2,550	0,008
ASPEN	I	2,003	5,150	5,505	0,001
	II	4,360	3,500	1,747	0,001
ESTERECO n.1	I	1,362	3,780	7,144	0,018
	II	3,789	4,056	1,950	0,006
ESTERECO n.2	I	1,899	4,957	6,306	0,003
	II	4,054	4,114	1,864	0,003
GREENTEC XTS	I	1,878	5,325	6,699	0,005
	II	3,753	4,144	2,129	0,004
STIHL TT/N (1)	I	1,978	6,000	5,434	0,004
	II	3,879	4,270	2,011	0,004
STIHL HT BIO PLUS	I	1,283	4,411	5,978	0,005
	II	3,734	4,133	1,987	0,004

(1) Lubrificanti non ecologici
Nota:
N.B.:I valori di HC sono moltiplicati per 3, in quanto l'analizzatore Bosch BEA 350, esegue l'azzeramanto con propano (C_3H_8), quindi con carbonio C3(trivalente) anziché C1(monovalente). La normativa richiede infatti che il gas d'azzeramento degli HC, CO, CO_2 ed O_2 impiegato dall'analizzatore sia del tipo C1.

Tabella 38 Valori sperimentali di emissione rilevati durante le prove in cella motore

7.1.2 Calcolo della portata massica del carburante

Di seguito si riporta il tempo necessario al consumo dei 25cm^3 di miscela di carburante contenuti nella buretta graduata del sistema di rifornimento[198], per le due tipologie di prova e per ogni miscela impiegata.

Dato che la portata massica del carburante è espressa in kg/h, è necessario convertire il tempo misurato con il cronometro per il consumo di cui sopra, con l'Equazione 28.

---

[197] $\%vol = \frac{ppm}{10.000}$

[198] Confronta i Paragrafi 6.1.1 e 6.1.1.2

	Modalità di prova	minuti	secondi	centesimi	Ore (h)
GARDEN 2T	I	1	9	44	0,019
	II	5	16	6	0,088
LOW SMOKE	I	0	48	95	0,014
	II	6	33	17	0,109
ASPEN	I	0	43	23	0,012
	II	10	25	30	0,174
ESTERECO1	I	1	4	48	0,018
	II	5	21	29	0,089
ESTERECO2	I	1	36	24	0,027
	II	4	54	76	0,082
GREENTEC XTS	I	1	38	85	0,027
	II	5	15	30	0,088
STIHL TT/N	I	1	36	41	0,027
	II	5	7	60	0,085
STIHL HT BIO PLUS	I	1	49	19	0,030
	II	4	56	99	0,082

Tabella 39 Tempo (h) necessario al consumo dei 25cm^3 della buretta del circuito di rifornimento

$$Consumo\ orario(h) = \frac{\min}{60} + \frac{s}{3600} + \frac{centesimi}{360000}$$

Equazione 28

Per convertire il volume di 25cm^3 in kg, si utilizzano i valori di densità dei lubrificanti, della miscela ecologica e della benzina speciale UTG 96 (Paragrafi 6.1.5 e 6.1.6). Successivamente rapportando tale valore con quello del “consumo temporale”, otteniamo la portata massica del carburante, G_{FUEL} (Equazione 29).

$$G_{FUEL} = \frac{\frac{25}{1000} \times D_{miscela}}{\frac{min}{60} + \frac{sec}{3600} + \frac{centesimi}{360000}}$$

Equazione 29

Per determinare il valore di densità della miscela ($D_{miscela}$) contenuta nei 25cm^3, è necessario considerare anche la percentuale di miscelazione in modo da ponderare il valore di densità del lubrificante con quello della benzina; è espressa in kg/dm^3.

$$D_{miscela} = \frac{24{,}25 \times D_{benzina} + 0{,}75 \times D_{lub\,rificante}}{1000}$$

Equazione 30

	lubrificante %	**Densità benzina** (kg/dm³)	**Densità lubrificante** (kg/dm³)	**DENSITA' MISCELA** (kg/dm³)	**PORTATA MASSICA** (kg/h)	
GARDEN 2T	4	0,731	0,865	0,736	I mod	0,954
					II mod	0,210
LOW SMOKE	4	0,731	0,865	0,736	I mod	1,354
					II mod	0,169
ASPEN	2	0,700	-	0,700	I mod	1,457
					II mod	0,101
ESTERECO1	4	0,731	0,865	0,736	I mod	1,028
					II mod	0,206
ESTERECO2	4	0,731	0,865	0,736	I mod	0,689
					II mod	0,225
GREENTEC XTS	4	0,731	0,935	0,739	I mod	0,673
					II mod	0,211
STIHL TT/N	4	0,731	0,880	0,736	I mod	0,688
					II mod	0,216
STIHL HT BIO PLUS	4	0,731	0,943	0,739	I mod	0,610
					II mod	0,224

Tabella 40 Portate massiche di emissione (consumi) per ogni tipologia di miscela testata, nelle 2 modalità di prova

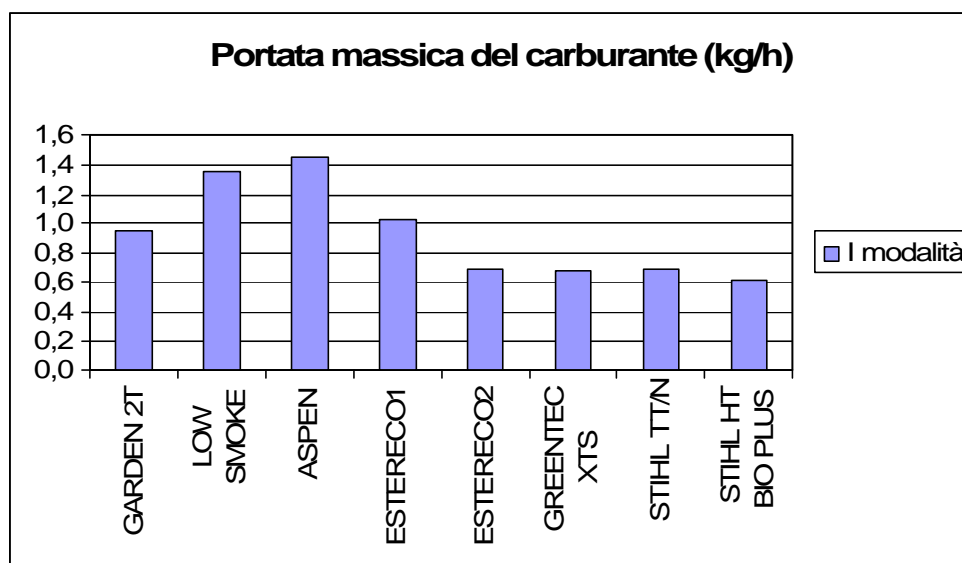



Figura 74 Portata massica (consumi) durante la I modalità

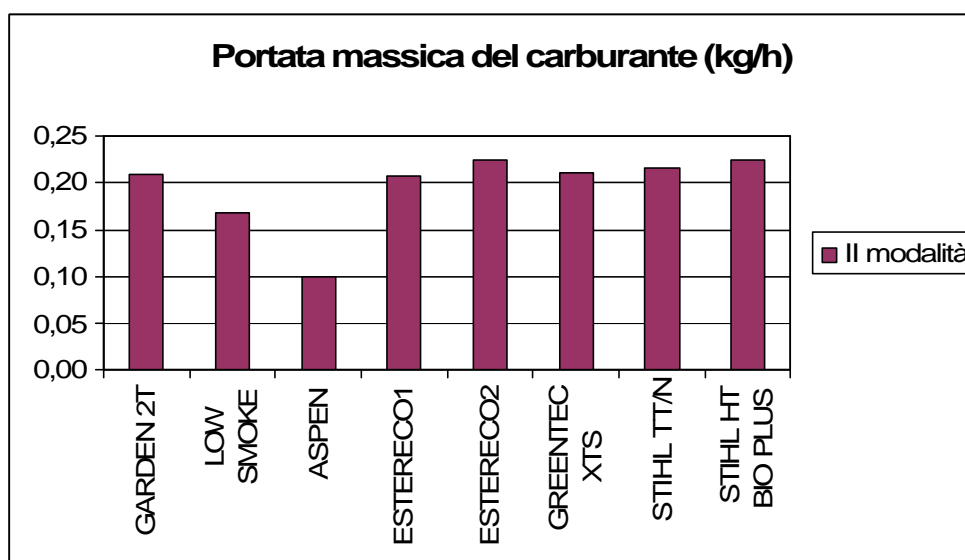



Figura 75 Portata massica (consumi) durante la II modalità

7.1.3 Calcolo della portata massica d'emissione

Attraverso il procedimento riportato nella Tabella 19, con l'equazione seguente (Equazione 30), sono valutate le emissioni specifiche, per ogni tipologia di miscela testata, di tutti i composti studiati.

$$Gas_{mass} = \frac{MW_{Gas}}{MW_{FUEL}} \times \frac{1}{\{(\%CO_2[umido] - \%CO_{2AIR}) + \%CO[umido] + \%HC[umido]\}} \times \%conc \times G_{FUEL} \times 1000$$

Equazione 31 Calcolo della portata massica d'emissione

Nella Tabella 40 sono riportati tutti i valori sperimentali ottenuti testando la motosega ALPINA P500 al banco freno e collegandola all'analizzatore per i gas di scarico. La fase successiva è quella dell'inserimento di questi dati nell'Equazione 30.

Per il calcolo del peso molecolare del carburante MW_{FUEL} è necessario applicare l'Equazione 31, mentre per i pesi molecolari di ciascun gas MW_{GAS} (kg/mole), si considerano i parametri riportati nella Tabella 19 (Paragrafo 4.9.5).

Note		tipo miscela	GARDEN 2T		LOW SMOKE		ASPEN		ESTERECO1	
		modalità	I	II	I	II	I	II	I	II
		carico %	100	0	100	0	100	0	100	0
1	**HC**	%v/v	1,723	4,170	1,303	2,833	2,003	4,360	1,362	3,789
1	**CO**	%v/v	5,380	4,633	7,889	4,000	5,150	3,500	3,780	4,056
1	**CO_2**	%v/v	6,800	2,076	5,397	2,550	5,505	1,747	7,144	1,950
1	**NO_X**	%v/v	0,009	0,009	0,006	0,008	0,001	0,001	0,018	0,006
2	**CO_{2AIR}**	%v/v	0,010	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,010	0,010
3	**G_{FUEL}**	kg/h	0,954	0,210	1,354	0,169	1,457	0,101	1,028	0,206
	Calcolo della potenza assorbita									
4	**n**	rpm	6000	0	6000	0	6000	0	6000	0
5	**K**	N	5,0	0	2,0	0	2,0	0	2,0	0
6	**M**	N×m	1,790	0,000	0,716	0,000	0,716	0,000	0,716	0,000
7	**P**	kW	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0
8	**MW_{FUEL}**	kg/kmole	14,031	14,031	14,031	14,031	13,877	13,877	14,031	14,031
9	**WF**	-	0,90	0,10	0,90	0,10	0,90	0,10	0,90	0,10
10	**WF**	-	0,85	0,15	0,85	0,15	0,85	0,15	0,85	0,15

Note		tipo miscela	ESTERECO2		GREENTEC XTS		STIHL TT/N		STIHL HT BIO PLUS	
		modalità	I	II	I	II	I	II	I	II
		carico %	100	0	100	0	100	0	100	0
1	**HC**	%v/v	1,899	4,054	1,878	3,753	1,978	3,879	1,283	3,734
1	**CO**	%v/v	4,957	4,114	5,325	4,144	6,000	4,270	4,411	4,133
1	**CO_2**	%v/v	6,306	1,864	6,699	2,129	5,434	2,011	5,978	1,987
1	**NO_X**	%v/v	0,003	0,003	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004
2	**CO_{2AIR}**	%v/v	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	**G_{FUEL}**	kg/h	0,689	0,225	0,673	0,211	0,688	0,216	0,610	0,224
	Calcolo della potenza assorbita									
4	**n**	rpm	6000	0	6000	0	6000	0	6000	0
5	**K**	N	2,0	0	2,0	0	2,0	0	2,0	0
6	**M**	N×m	0,716	0,000	0,716	0,000	0,716	0,000	0,716	0,000
7	**P**	kW	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	0,0
8	**MW_{FUEL}**	kg/kmole	14,031	14,031	14,031	14,031	14,031	14,031	14,031	14,031
9	**WF**	-	0,90	0,10	0,90	0,10	0,90	0,10	0,90	0,10
10	**WF**	-	0,85	0,15	0,85	0,15	0,85	0,15	0,85	0,15

Note:

(1) Emissioni degli inquinati aerodispersi;
(2) Concentrazione di CO_2 nell'aria di alimentazione;
(3) Portata massica del carburante;
(4) Numero di giri (rpm o giri× min);
(5) Carico applicato al freno;
(6) Coppia resistente (o coppia motrice a regime stabilizzato). Braccio di leva pari a 0,358m;
(7) Potenza;
(8) Peso molecolare del carburante (Equazione 31);
(9) Fattore ponderazione prima fase;
(10) Fattore ponderazione seconda fase.

Tabella 41 Riepilogo dati sperimentali

$$MW_{FUEL} = 12{,}011 + a \times 1{,}00794 + ß \times 15{,}9994 \text{ [kg/kmole]}$$

dove:

a e ß rappresentano rispettivamente il rapporto idrogeno-carbonio ed il rapporto ossigeno-carbonio del carburante. Questi dati si estrapolano dalla scheda di sicurezza del Carburante UTG 96[199]

Equazione 32 Peso molecolare del carburante

A questo punto, avendo determinato tutti i termini dell'Equazione 30 è possibile calcolare le portate massiche (g/h) di emissione per ogni aerodisperso. Nella tabella successiva è data visione dei risultati ottenuti.

	Modalità	HC g/h	CO g/h	CO_2 g/h	NO_X g/h
GARDEN 2T	I	118,342	737,820	1465,263	1,969
	II	80,445	178,447	125,600	0,541
LOW SMOKE	I	120,984	1462,582	1572,056	1,908
	II	50,941	143,610	143,848	0,472
ASPEN	I	230,558	1196,855	2010,157	0,267
	II	45,727	74,092	58,097	0,038
ESTERECO1	I	113,997	631,816	1876,196	4,816
	II	79,875	170,680	128,945	0,405
ESTERECO2	I	99,384	517,956	1035,223	0,586
	II	90,892	184,167	131,120	0,204
GREENTEC XTS	I	90,925	514,609	1017,160	0,754
	II	78,972	174,111	140,524	0,261
STIHL TT/N	I	101,461	614,386	874,321	0,668
	II	82,318	180,919	133,877	0,288
STIHL HT BIO PLUS	I	66,987	459,869	979,183	0,894
	II	84,911	187,656	141,718	0,314

Tabella 42 Portata massica di emissione per singolo inquinante

7.1.4 Calcolo della portata specifica di emissione e confronto con i limiti

Per ogni gas tossico si ottengono, dal calcolo delle portate massiche, due valori, corrispondenti rispettivamente alla prima e alla seconda modalità di prova. Pertanto questi termini devono essere mediati attraverso una media aritmetica ponderale[200] in funzione della potenza erogata dal motore durante la prova, e dei fattori di ponderazione sono

[199] Confronta i Paragrafi 4.9.5 e 6.1.5 e la Tabella 19

[200] Confronta il Paragrafo 4.9.6

riportati dalla Direttiva 2002/88/CE stessa, diversi a seconda della fase di attuazione[201]. L'espressione da applicare in questo caso è la numero 15 del paragrafo 4.9.6.

Inoltre, dato che è richiesto dalla norma, si effettua la somma delle concentrazioni di idrocarburi (*HC*) con gli ossidi di azoto (*NO_X*)

	Fase di Attuazione	**HC** g/kWh	**CO** g/kWh	**CO_2** g/kWh	**NO_X** g/kWh	**$HC+NO_X$** g/kWh
GARDEN 2T	I	63,640	378,824	739,609	1,014	64,654
	II	66,269	384,656	743,714	1,032	67,301
LOW SMOKE	I	63,322	739,269	794,020	0,980	64,303
	II	64,987	743,962	798,721	0,996	65,983
ASPEN	I	117,819	602,544	1008,306	0,136	117,955
	II	119,314	604,965	1010,205	0,137	119,451
ESTERECO1	I	61,436	325,390	945,262	2,430	63,866
	II	64,046	330,968	949,476	2,444	66,490
ESTERECO2	I	54,742	269,210	524,896	0,304	55,046
	II	57,712	275,228	529,181	0,311	58,023
GREENTEC XTS	I	49,850	266,977	516,387	0,391	50,241
	II	52,431	272,667	520,979	0,400	52,831
STIHL TT/N	I	55,304	317,244	444,598	0,350	55,654
	II	57,994	323,156	448,973	0,359	58,354
STIHL HT BIO PLUS	I	38,211	240,360	497,465	0,465	38,675
	II	40,986	246,492	502,096	0,475	41,461

Tabella 43 Emissione specifica per singolo inquinante

A questo punto i valori possono essere confrontati con i limiti imposti dalla direttiva (Paragrafi 4.9.2 e 4.10, Tabella 16 e 20), e nei grafici successivi è reso evidente il suddetto confronto.

[201] Confronta il Paragrafo 4.9.1 e la Tabella 40

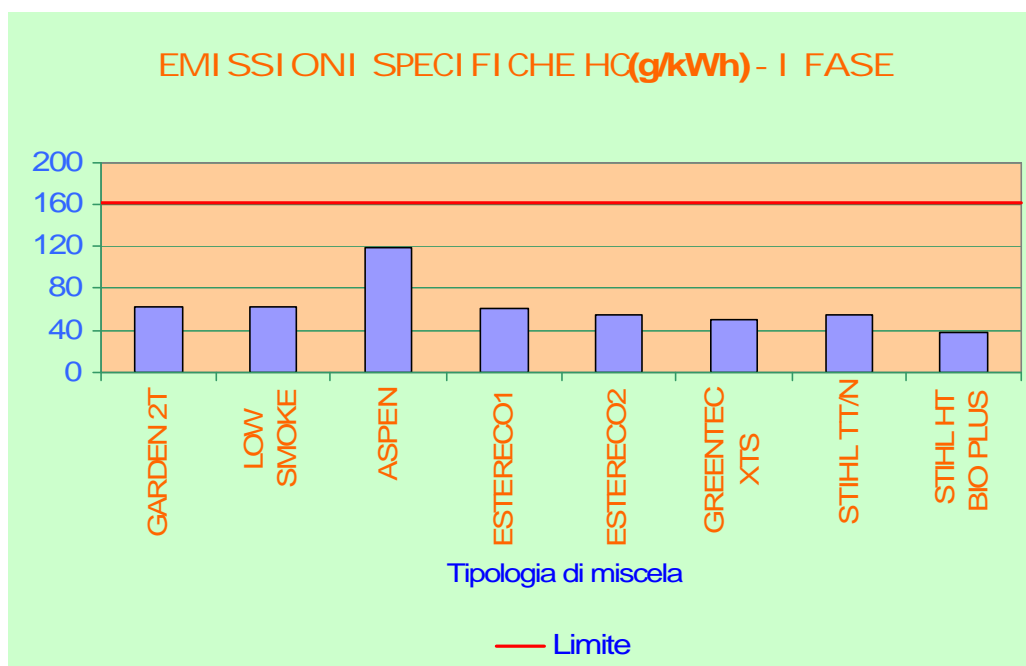



Figura 76

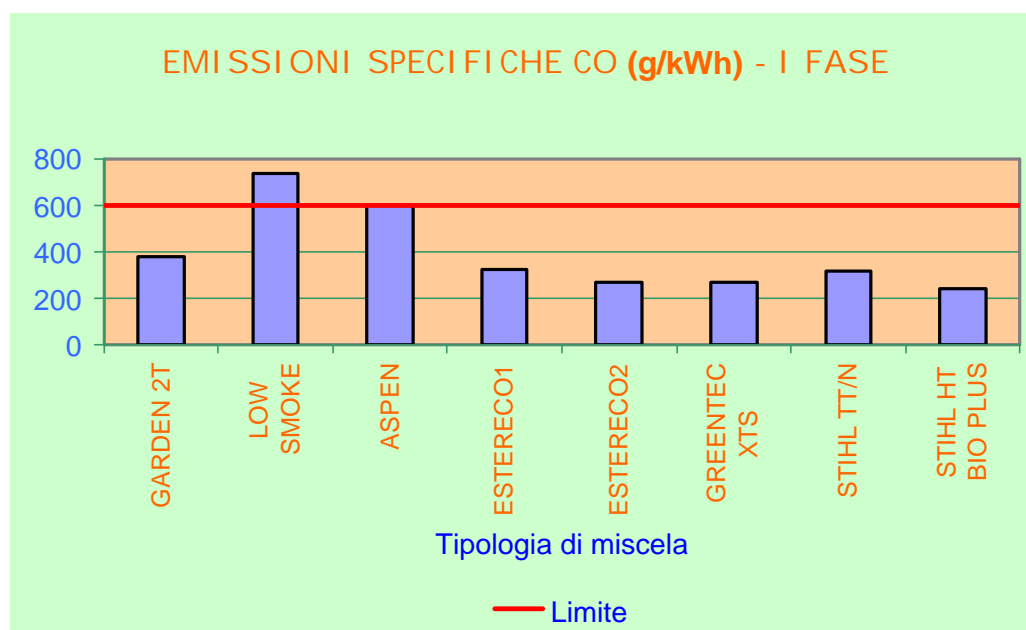



Figura 77

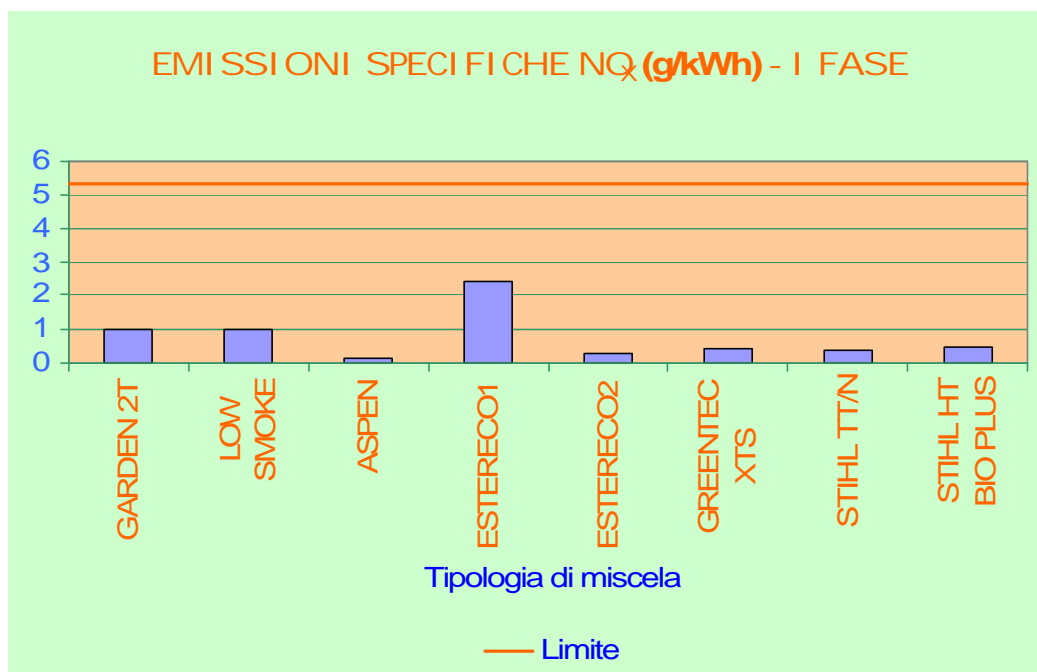



Figura 78

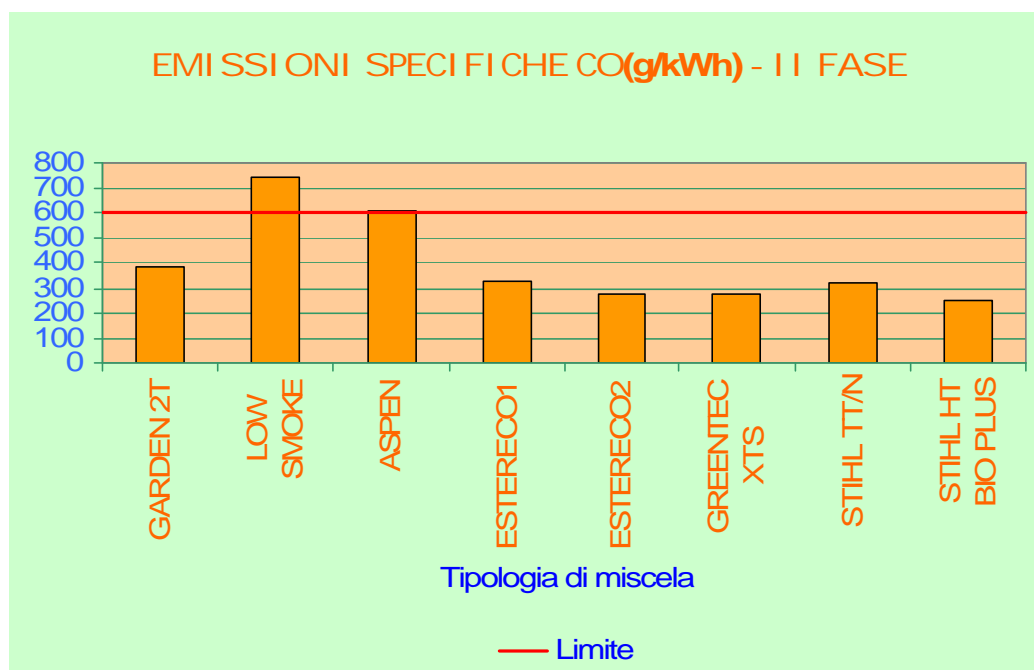



Figura 79

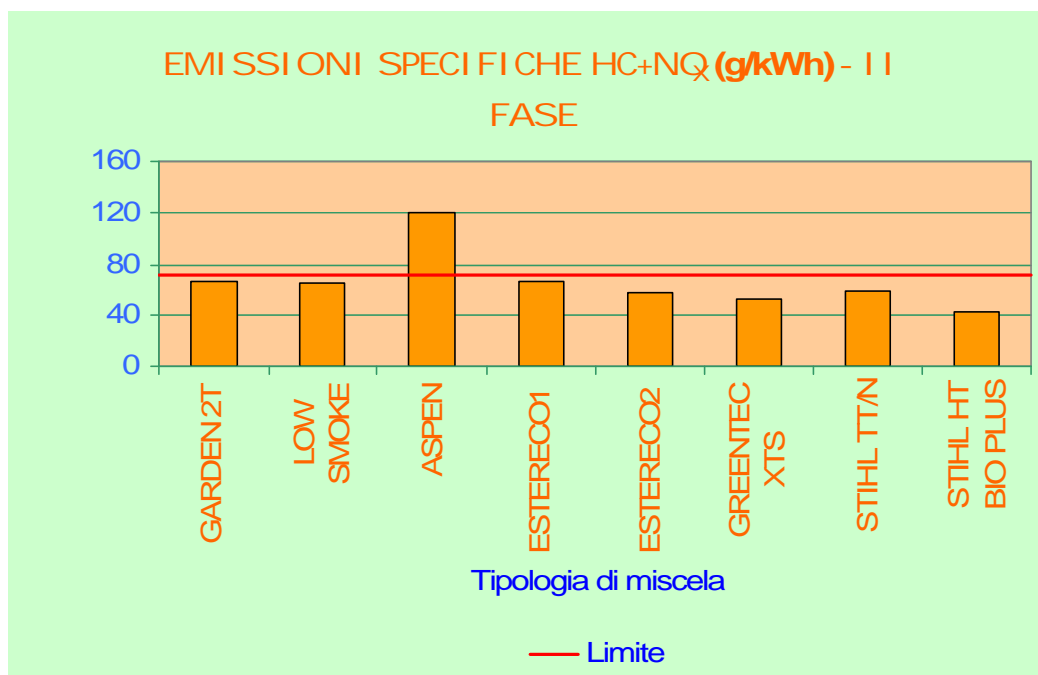



Figura 80

7.2 Valutazione del rischio di esposizione personale agli inquinanti aerodispersi presenti durante l'utilizzo delle attrezzature portatili

Come riportato nell'introduzione, il secondo obiettivo della sperimentazione è quello di valutare l'esposizione professionale agli inquinanti aerodispersi emessi dalle attrezzature portatili, durante le attività di utilizzazione forestale e manutenzione del verde pubblico. Per questa indagine sono state prese in considerazioni realtà appartenenti al nostro contesto territoriale e quindi imprese boschive e di manutenzione del verde operanti per lo più nella Provincia di Viterbo.

Il primo passo nell'elaborazione dei dati è stato quello di trattare, per ogni cantiere visitato, le concentrazioni di inquinanti rilevate con gli strumenti. I dati sono preceduti da una breve descrizione dei cantieri boschivi.

Lo scopo è quello di evidenziare, tramite delle tabelle e i relativi grafici, i valori di esposizione di *CO*, *VOC*, e *benzene* rilevati durante le prove eseguite. I grafici mostrano, per ogni operazione selvicolturale e di manutenzione osservata, i valori massimi, minimi e medi delle concentrazioni di ciascun inquinante. Nelle descrizioni di ogni stazione di

rilevamento è riportata la tipologia di cantiere, distinto in cantiere di utilizzazione forestale o di manutenzione del verde pubblico o privata, sommaria descrizione degli interventi che ivi si eseguono e la tipologia e le caratteristiche tecniche delle macchine utilizzate.

Si ricorda inoltre che data la diversa metodologia di funzionamento degli analizzatori, le misurazioni del benzene non avvengono in modo continuo, a differenza di quanto avviene con gli altri gas, ma "sparate" in un intervallo di un minuto. Per questo, per avere dei valori di concentrazione rappresentativi della sostanza, sono state eseguite più misurazioni nel corso della stessa giornata di campionamento.

Tuttavia per la scelta del numero di campioni e delle modalità di rilevamento, ci si attiene a quanto riportato nella norma tecnica UNI EN 689 (Paragrafo 4.6) ed in modo particolare nella sua appendice "A". La scelta della durata del campionamento e del numero di campioni da eseguire è stabilito mediante analisi statistica sintetizzata nella tabella seguente.

Durata del campionamento	Numero minimo di campioni per turno
10 s	30
1 min	20
5 min	12
15 min	4
30 min	3
1 h	2
≥ 2 h	1

Figura 81 Numero minimo di campioni per turno in relazione alla durata del campionamento[202]

[202] Norma Tecnica UNI EN 689:1997, Appendice "A", Prospetto "A.1" – Il prospetto A.1 fornisce una guida per il campionamento nei processi operativi con schemi di esposizione omogenea. Si tratta della combinazione di esperienze pratiche e di principi statistici, poiché in genere la statistica nelle valutazioni di esposizione professionale può essere applicata soltanto come guida per le conclusioni di un professionista.
Lo schema di tempi si basa sul presupposto che il 25% circa della durata di esposizione sia campionato, perché il tempo di lavoro non preveda consistenti cambiamenti di esposizione. Con tempi molto brevi di campionamento ciò implicherebbe un numero enorme di campioni singoli, per esempio 720 per 10 s di durata di campionamento. Per ragioni pratiche questa quantità non è attuabile.

Le nostra attività di ricerca rientra pertanto nella valutazione statistica evidenziata nella Figura 81.

La descrizione dei cantieri e le relative schede riassuntive in cui sono riportati i valori analitici mediati per singolo inquinante, sono elencati in ordine cronologico nei paragrafi successivi. Nelle schede sono indicati anche, i parametri ambientali medi per singola giornata di studio.

7.2.1 Cantiere di utilizzazione di Vetralla

La fustaia di *Quercus cerris* L. (cerro), sottoposta a taglio intercalare, si trova nel comune di Vetralla, provincia di Viterbo, precisamente in zona “La scorticata”, località Asmara. Il lavoro è stato eseguito dagli operai di una ditta boschiva locale, aventi a disposizione le seguenti motoseghe:

* HUSQVARNA 385 XP (n.1), con barra di taglio da 40 cm;
* JONSERED CS 2151 TURBO (n.2), con barra di taglio da 40 cm.

Le operazioni selvicolturali oggetto delle nostre misurazioni sono state tre: due allestimenti ed un abbattimento. Per gli allestimenti è stata adoperata la motosega HUSQVARNA 385 XP, mentre per l’abbattimento è stata usata la JONSERED CS 2151 TURBO. Le misurazioni sono state eseguite il giorno 11 marzo 2005, dalle ore 9,42, per quanto concerne l’abbattimento e il 22 marzo 2005 alle ore 12,05 per l’abbattimento. Le condizioni climatiche erano caratterizzate da un cielo sereno, da una velocità del vento 1,6 m/s, dalla temperatura media *Ta* durante i rilevamenti di 8,2°C e da una umidità relativa media U_{rel} del 64,3%. Durante la seconda giornata di prove i parametri climatici non sono stati rilevati a causa di problemi con la strumentazione di rilevamento, e quindi sia approssimano ai precedenti.

Data	11/03/2005					
Ora inizio rilevamento	9,42					
Condizioni Meteo	Ta	8,2°C	U_{rel}	64,3%	vento	1,6 m/s
Località	Vetralla (VT), Località Asmara					
Tipologia di intervento	Allestimento degli assortimenti legnosi					
Tipologia di macchina	Motosega					
Modello	Husqvarna 385XP con barra da 40 cm e miscela al 5%					
Inquinante misurato	**CO**		**VOC**		**C_6H_6**	
Max (ppm)	2,4		0,0		1,8	
Min (ppm)	0,0		0,0		1,8	
MEDIO (ppm)	1,1		0,0		1,8	

Tabella 44 Cantiere di Allestimento di Vetralla

Data	11/03/2005					
Ora inizio rilevamento	10,00					
Condizioni Meteo	Ta	8,2°C	U_{rel}	64,3%	vento	1,6 m/s
Località	Vetralla (VT), Località Asmara					
Tipologia di intervento	Allestimento degli assortimenti legnosi					
Tipologia di macchina	Motosega					
Modello	HUSQVARNA 385XP con barra da 40 cm e miscela al 5%					
Inquinante misurato	**CO**		**VOC**		**C_6H_6**	
Max (ppm)	42,3		0,0		1,8	
Min (ppm)	0,0		0,0		1,8	
MEDIO (ppm)	5,3		0,0		1,8	

Tabella 45 Seconda misurazione durante l'Allestimento nel Cantiere di Vetralla

Data	22/03/2005					
Ora inizio rilevamento	12,05					
Condizioni Meteo	Ta	-	U_{rel}	-	vento	-
Località	Vetralla (VT), Località Asmara					
Tipologia di intervento	Abbattimento					
Tipologia di macchina	Motosega					
Modello	JONSERED CS 2151 TURBO, con barra di taglio di 40 cm e miscela al 5%					
Inquinante misurato	**CO**		**VOC**		**C_6H_6**	
Max (ppm)	104,0		0,0		1,8	
Min (ppm)	0,0		0,0		1,8	
MEDIO (ppm)	18,2		0,0		1,8	

Tabella 46 Cantiere abbattimento di Vetralla

Figura 82 Cantiere di Abbattimento-Allestimento (Utilizzazione Forestale) in Località Asmara nel Comune di Vetralla

7.2.2 Cantiere di utilizzazione di Canepina

Il ceduo di *Castanea sativa* L. (castagno), sottoposto a taglio con rilascio di matricine, si trova nel comune di Canepina, provincia di Viterbo. La superficie interessata al trattamento è di 38 ha. Il lavoro è stato eseguito dagli operai di una ditta boschiva locale, aventi a disposizione i seguenti tipi di motoseghe:

- ECHO (n.1), con barra da 40 cm;
- HUSQVARNA 385 XP (n.1), con barra da 40 cm;
- STIHL 066 (n.1), con barra da 40 cm.

Le operazioni selvicolturali oggetto delle nostre misurazioni sono state cinque: due allestimenti e tre abbattimenti. E' stata eseguita anche una misurazione durante la fase di rifornimento delle motoseghe per valutare il rischio di esposizione del boscaiolo, in questa circostanza. Per gli allestimenti sono state adoperate solamente le motoseghe ECHO ed HUSQVARNA 385 XP, mentre per gli abbattimenti sono state impiegate a turno tutte le

macchine.

Il rilevamento è stato eseguito il giorno 23 marzo 2005, dalle ore 10,59 alle ore 11,54. Le condizioni climatiche erano caratterizzate da un cielo poco nuvoloso con velocità del vento di 1,4 m/s, *Ta* media durante i rilevamenti di 15,3°C e U_{rel} media del 57,6%.

Data	23/03/2005		
Ora inizio rilevamento	10,59		
Condizioni Meteo	Ta 15,3°C	U_{rel} 57,6%	vento 1,4 m/s
Località	Canepina (VT)		
Tipologia di intervento	Allestimento degli assortimenti legnosi		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	ECHO con barra di taglio di 40 cm e miscela al 5%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	4,5	0,0	0,0
Min (ppm)	0,5	0,0	0,0
MEDIO (ppm)	2,0	0,0	0,0

Tabella 47 Cantiere di Allestimento di Canepina

Data	23/03/2005		
Ora inizio rilevamento	11,23		
Condizioni Meteo	Ta 15,3°C	U_{rel} 57,6%	vento 1,4 m/s
Località	Canepina (VT)		
Tipologia di intervento	Abbattimento polloni di Castagno		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	HUSQVARNA 385 XP con barra di taglio di 40 cm e miscela al 5%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	109,7	4,6	1,1
Min (ppm)	2,0	0,0	1,1
MEDIO (ppm)	18,7	0,7	1,1

Tabella 48 Cantiere di Abbattimento di Canepina

Data	23/03/2005		
Ora inizio rilevamento	11,33		
Condizioni Meteo	Ta 15,3°C	U_{rel} 57,6%	vento 1,4 m/s
Località	Canepina (VT)		
Tipologia di intervento	Allestimento degli assortimenti legnosi		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	HUSQVARNA 385 XP con barra di taglio di 40 cm e miscela al 5%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	4,3	0,0	0,1
Min (ppm)	0,8	0,0	0,1
MEDIO (ppm)	2,4	0,0	0,1

Tabella 49 Secondo Allestimento nel Cantiere di Canepina

Data	23/03/2005		
Ora inizio rilevamento	11,38		
Condizioni Meteo	Ta 15,3°C	U_{rel} 57,6%	vento 1,4 m/s
Località	Canepina (VT)		
Tipologia di intervento	Rifornimento delle Motoseghe		
Tipologia di macchina		-	
Modello		-	
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	3,4	27,6	2,3
Min (ppm)	0,9	0,0	2,3
MEDIO (ppm)	2,2	5,2	2,3

Tabella 50 Misurazioni Esalazioni Tanica

Data	23/03/2005		
Ora inizio rilevamento	11,44		
Condizioni Meteo	Ta 15,3°C	U_{rel} 57,6%	vento 1,4 m/s
Località	Canepina (VT)		
Tipologia di intervento	Abbattimento polloni di Castagno		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	ECHO con barra di taglio di 40 cm e miscela al 5%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	116,4	34,5	2,3
Min (ppm)	2,3	0,0	2,3
MEDIO (ppm)	39,9	7,4	2,3

Tabella 51 Secondo Abbattimento nel Cantiere di Canepina

Data	23/03/2005		
Ora inizio rilevamento	11,49		
Condizioni Meteo	Ta 15,3°C	U_{rel} 57,6%	vento 1,4 m/s
Località	Canepina (VT)		
Tipologia di intervento	Abbattimento polloni di Castagno		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	STIHL 066 con barra di taglio di 40 cm e miscela al 5%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	359,4	26,2	2,9
Min (ppm)	2,2	0,0	2,9
MEDIO (ppm)	51,7	1,6	2,9

Tabella 52 Terzo Abbattimento nel Cantiere di Canepina

Figura 83 Cantiere di Abbattimento-Allestimento (Utilizzazione Forestale) nel Comune di Vetralla

7.2.3 Cantiere di utilizzazione di Piedipaterno (PG)

Il ceduo di *Quercus ilex* L. (leccio), sottoposto a taglio con rilascio di matricine, si trova a Piedipaterno, frazione del comune di Vallodinera, provincia di Perugia, precisamente in località "Macchia della casetta".

La superficie interessata al trattamento è di 37 ha. Il lavoro è stato eseguito da una ditta locale a conduzione familiare, ed il modello di motosega a disposizione era il seguente:

- STIHL 066 (n.1), con barra da 45 cm.

Le operazioni selvicolturali oggetto delle nostre misurazioni sono state i due abbattimenti e si sono svolte il giorno 08 aprile 2005, dalle ore 10,16.

Le condizioni climatiche erano le seguenti: cielo coperto, velocità del vento 7,2 m/s, *Ta* media durante i rilevamenti 12°C e U_{rel} al 55%.

Data	08/04/2005		
Ora inizio rilevamento	10,16		
Condizioni Meteo	Ta 12,0°C	U_{rel} 55,0%	vento 7,2 m/s
Località	Piedipaterno (PG)		
Tipologia di intervento	Abbattimento ceduo di leccio		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	STIHL M066 con barra di taglio di 45 cm e miscela al 3% (STIHL TT/N)		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	327,5	120,9	0,7
Min (ppm)	1,0	0,0	0,7
MEDIO (ppm)	31,4	4,0	0,7

Tabella 53 Cantiere di Abbattimento di Piedipaterno

Data	08/04/2005		
Ora inizio rilevamento	10,24		
Condizioni Meteo	Ta 12,0°C	U_{rel} 55,0%	vento 7,2 m/s
Località	Piedipaterno (PG)		
Tipologia di intervento	Abbattimento ceduo di leccio		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	STIHL M066 con barra di taglio di 45 cm e miscela al 3% (STIHL TT/N)		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	137,4	8,5	3,2
Min (ppm)	2,2	0,0	3,2
MEDIO (ppm)	23,1	0,5	3,2

Tabella 54 Secondo Abbattimento nel Cantiere di Piedipaterno

Figura 84 Cantiere di Abbattimento-Allestimento (Utilizzazione Forestale) nel Comune di Vallodinera

7.2.4 Cantiere di allestimento presso l'Azienda Agraria dell'Università' della Tuscia

Questa misurazione è stata eseguita presso l'azienda agraria dell'Università della Tuscia di Viterbo, in località "Riello". Le operazioni hanno interessato dei fusti di *Eucaliptis globulus* L. (eucalipto). Il lavoro è stato eseguito da un tecnico dipendente dell'Università, avente a sua disposizione i seguenti modelli di motoseghe:

* Mc CULLOCH PROMAC 46 (n.1), con barra da 40 cm;
* STIHL 026 (n.1), con barra da 40 cm;
* JONSERED CLASSIC 2150 (n.1), con barra da 40 cm.

Le misurazioni sono state eseguite il giorno 13 maggio 2005, dalle ore 10,02 e sono state in numero di tre, in modo da testare tutte le macchine in dotazione.

Le condizioni climatiche erano le seguenti: cielo coperto, velocità del vento 2,9 m/s, *Ta* durante i rilevamenti di 13,5°C e U_{rel} del 65%.

Data	13/05/2005		
Ora inizio rilevamento	10,02		
Condizioni Meteo	Ta 13,5°C	U_{rel} 65,0%	vento 2,9 m/s
Località	Azienda Agraria Università della Tuscia (VT)		
Tipologia di intervento	Allestimento		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	Mc CULLOCH PROMAC 46 con barra di taglio di 40 cm e miscela al 5%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	139,9	4,5	0,0
Min (ppm)	0,4	0,0	0,0
MEDIO (ppm)	51,3	1,2	0,0

Tabella 55 Cantiere di Allestimento dell'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia

Data	13/05/2005					
Ora inizio rilevamento	10,19					
Condizioni Meteo	Ta	13,5°C	U_{rel}	65,0%	vento	2,9 m/s
Località	Azienda agraria Università della Tuscia (VT)					
Tipologia di intervento	Allestimento					
Tipologia di macchina	Motosega					
Modello	STIHL 026 con barra di taglio di 40 cm e miscela al 5%					
Inquinante misurato	**CO**		**VOC**		**C_6H_6**	
Max (ppm)	1,6		0,0		0,0	
Min (ppm)	0,0		0,0		0,0	
MEDIO (ppm)	0,1		0,0		0,0	

Tabella 56 Secondo Allestimento presso il Cantiere organizzato presso Azienda Agraria dell'Università della Tuscia

Data	13/05/2005					
Ora inizio rilevamento	10,26					
Condizioni Meteo	Ta	13,5°C	U_{rel}	65,0%	vento	2,9 m/s
Località	Azienda agraria Università della Tuscia (VT)					
Tipologia di intervento	Allestimento (tronco di grandi dimensioni)					
Tipologia di macchina	Motosega					
Modello	JONSERED CLASSIC 2150 con barra di taglio di 40 cm e miscela al 5%					
Inquinante misurato	**CO**		**VOC**		**C_6H_6**	
Max (ppm)	82,8		3,5		41,0	
Min (ppm)	0,0		0,0		0,0	
MEDIO (ppm)	15,1		0,2		13,7	

Tabella 57 Secondo Allestimento presso il Cantiere organizzato presso Azienda Agraria dell'Università della Tuscia

Figura 85 Cantiere di Allestimento organizzato per l'occorrenza, negli spazi messi a disposizione dal Dip.GEMINI, presso l'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia

7.2.5 Cantiere di ripulitura presso l'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia (primo rilevamento)

Il rilievo si è svolto nell'azienda dell'Università degli Studi della Tuscia il giorno 1 giugno 2005, durante l'operazione di ripuliture a bordo campo delle scoline dalle erbe infestanti. La durata della misurazione è stata di circa 1 ora ed ha avuto inizio alle 9,25. L'attrezzatura impiegata è un decespugliatore di tipo:

* SHINDAIWA BP45 (n.1) con miscela al 3%.

Il rilievo dei gas di scarico è stato realizzato ponendo i sensori, MultiRAE PGM-50 Plus e l'UltraRAE PGM-7200, sulla cintura dell'operatore con i tubi passanti sul casco e terminanti in prossimità dell'apparato rino-boccale. Per quanto riguarda il MultiRAE PGM-50, il rilievo è avvenuto in maniera continua dal momento dell'accensione fino all'arresto dell'attrezzatura, mentre per l'UltraRAE PGM-7200, il rilievo non è stato continuo, ma intervallato da "stop" per il cambio della fiala del rilevatore.

Le condizioni ambientali erano di cielo sereno con una *Ta* di 27,6°C, una velocità del vento di 3,25 m/s e U_{rel} del 72%[203]. La zona è considerata è annoverabile nelle aree di verde urbano in quanto adiacente alle abitazioni periferiche della città.

Data	01/06/2005		
Ora inizio rilevamento	9,25		
Condizioni Meteo	Ta 27,6°C	U_{rel} 72,0%	vento 3,25 m/s
Località	Azienda Agraria Università della Tuscia (VT)		
Tipologia di intervento	Ripulitura dalle erbacce lungo le scoline a bordo campo		
Tipologia di macchina	Decespugliatore		
Modello	SHINDAIWA BP45 con miscela al 3%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	170,5	8,9	0,1
Min (ppm)	18,7	0,0	0,1
MEDIO (ppm)	75,9	0,8	0,1

Tabella 58 Cantiere di Ripulitura dell'Azienda Agraria

Data	01/06/2005		
Ora inizio rilevamento	9,49		
Condizioni Meteo	Ta 27,6°C	U_{rel} 72,0%	vento 3,25 m/s
Località	Azienda Agraria Università della Tuscia (VT)		
Tipologia di intervento	Ripulitura dalle erbacce lungo le scoline a bordo campo		
Tipologia di macchina	Decespugliatore		
Modello	SHINDAIWA BP45 con miscela al 3%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	151,5	2,2	0,0
Min (ppm)	2,9	0,0	0,0
MEDIO (ppm)	45,2	0,3	0,0

Tabella 59 Seconda misurazione nel Cantiere di ripulitura dell'Azienda Agraria

Data	01/06/2005		
Ora inizio rilevamento	10,19		
Condizioni Meteo	Ta 27,6°C	U_{rel} 72,0%	vento 3,25 m/s
Località	Azienda Agraria Università della Tuscia (VT)		
Tipologia di intervento	Ripulitura dalle erbacce lungo le scoline a bordo campo		
Tipologia di macchina	Decespugliatore		
Modello	SHINDAIWA BP45 con miscela al 3%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	301,2	6,3	5,8
Min (ppm)	3,5	0,0	5,8
MEDIO (ppm)	43,5	0,5	5,8

Tabella 60 Terza misurazione nel Cantiere di ripulitura dell'Azienda Agraria

[203] Misure del giorno rilevate dalla stazione meteorologica dell'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia

Figura 86 Ripulitura delle scoline presso l'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia

7.2.6 Cantiere di ripulitura presso l'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia (secondo rilevamento)

Un altro rilievo durante la ripulitura delle infestanti, si è svolto nuovamente presso l'Azienda Agraria dell'Università, in data 31 agosto 2005. La durata complessiva del campionamento è stata di circa 15 minuti, ed ha avuto inizio alle ore 11,30.

L'attrezzatura impiegata per tale manutenzione era la medesima di quella del Paragrafo 7.2.5 e cioè il decespugliatore:

- SHINDAIWA BP45 (n.1) con miscela al 3%.

Le modalità del rilievo sono state le medesime di quelle del paragrafo precedente.

Le condizioni ambientali erano di cielo sereno con una *Ta* di 23,3°C, una velocità del vento di 1,47 m/s e U_{rel} del 62%[204].

[204] Misure del giorno rilevate dalla stazione meteorologica dell'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia

Figura 87 Sostituzione della fiala RAE Sep sull'analizzatore UltraRAE

Data	31/08/2005					
Ora inizio rilevamento	11,30					
Condizioni Meteo	Ta	23,3°C	U_{rel}	62,0%	vento	1,47 m/s
Località	Azienda Agraria Università della Tuscia (VT)					
Tipologia di intervento	Ripulitura dalle erbacce lungo le scoline a bordo campo					
Tipologia di macchina	Decespugliatore					
Modello	ALPINA VIP52 con miscela al 4%					
Inquinante misurato	**CO**		**VOC**		**C_6H_6**	
Max (ppm)	46,8		5,1		0,1	
Min (ppm)	0,0		0,0		0,0	
MEDIO (ppm)	9,0		0,9		0,03	

Tabella 61 Secondo Cantiere di Ripulitura presso l'Azienda Agraria

7.2.7 Cantiere di ripulitura presso la Riserva Naturale delle Saline di Tarquinia (primo rilevamento)

Questo rilievo si è svolto presso la “Riserva Naturale delle Saline di Tarquinia” il giorno 10 ottobre 2005. L’intervento di manutenzione del verde riguardava la ripulitura a bordo campo, delle scoline invase dalle erbe infestanti, la ripulitura dei piccoli tappeti erbosi in prossimità della Sede del Corpo della Guardia Forestale, e il taglio dei residui della vegetazione arborea secca. Il campionamento ha avuto una durata di circa 15 minuti ed è iniziato alle ore 11,02.

L'attrezzatura impiegata per tale tipologia di interventi è la seguente:

* Decespugliatore KAWASAKI TH48 (n.1) con miscela al 5% (lubrificante Husqvarna);
* Motosega HUSQVARNA 51 (n.1) con barra di taglio da 50 cm;
* Falciatrice OREC HR 661.

Il decespugliatore è stato campionato durante la ripulitura delle scoline, la motosega mentre tagliava la vegetazione arborea secca e la falciatrice, negli interventi di rasatura del prato.

Il rilievo dei gas di scarico è stato realizzato ponendo i sensori, MultiRAE PGM-50 Plus e l'UltraRAE PGM-7200, in apposite tasche applicate ad una cintura applicata sull'operatore, con i tubi passanti sul casco e terminanti in prossimità dell'apparato rino-bocale dello stesso.

In questo turno di rilievo, oltre alle attrezzature suddette, sono stati rilevati i gas di scarico prodotti dalla falciatrice con motore a 4 tempi, OREC alimentata a benzina verde. Questa prova ha lo scopo di misurare le emissioni di gas di scarico dei motori a 2 tempi con quelli a 4 tempi.

Per quanto riguarda le condizioni ambientali, il cielo si presentava sereno con una *Ta* di 20,0°C, una velocità del vento di 3,10 m/s e U_{rel} del 54%[205].

---

[205] Misure del giorno rilevate dalla stazione meteorologica della Riserva delle Saline di Tarquinia

Figura 88 Falciatrice OREC HR661

Data	10/10/2005		
Ora inizio rilevamento	10,26		
Condizioni Meteo	Ta 20,0°C	U_{rel} 54,0%	vento 3,1 m/s
Località	Riserva Naturale delle Saline di Tarquinia(VT)		
Tipologia di intervento	Ripulitura lungo le scoline		
Tipologia di macchina	Decespugliatore		
Modello	KAWASAKI TH48 con miscela al 5%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	48,2	1,6	8,8
Min (ppm)	0,0	0,0	7,5
MEDIO (ppm)	10,4	0,2	8,3

Tabella 62 Cantiere di Ripulitura presso la Riserva delle Saline di Tarquinia

Data	10/10/2005		
Ora inizio rilevamento	11,02		
Condizioni Meteo	Ta 20,0°C	U_{rel} 54,0%	vento 3,1 m/s
Località	Riserva Naturale delle Saline di Tarquinia(VT)		
Tipologia di intervento	Taglio vegetazione arborea secca		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	HUSQVARNA 51, con barra di taglio di 40cm e miscela al 5%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	186,9	6,5	9,9
Min (ppm)	0,3	0,0	6,4
MEDIO (ppm)	26,2	1,0	8,2

Tabella 63 Cantiere di taglio della vegetazione arborea secca presso la Riserva delle Saline di Tarquinia

Data	10/10/2005		
Ora inizio rilevamento	11,22		
Condizioni Meteo	Ta 20,0°C	U_{rel} 54,0%	vento 3,1 m/s
Località	Riserva Naturale delle Saline di Tarquinia(VT)		
Tipologia di intervento	Sfalcio dell'erba		
Tipologia di macchina	Falciatrice		
Modello	OREC HR661 4 TEMPI		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	48,2	0,8	1,7
Min (ppm)	0,0	0,0	0,0
MEDIO (ppm)	2,6	0,1	0,9

Tabella 64 Sfalcio del prato presso la Riserva delle Saline di Tarquinia

7.2.8 Cantiere di ripulitura presso la Riserva Naturale delle Saline di Tarquinia (secondo rilevamento)

Questo rilievo si è svolto il giorno 7 febbraio 2006, ancora una volta presso la Riserva Naturale delle Saline di Tarquinia, durante gli interventi di ripulitura a bordo campo, delle scoline dalle erbe infestanti. La durata complessiva del campionamento è stata di circa 30 minuti ed ha avuto inizio alle ore 10,30, mentre la metodologia è stata la medesima del rilevamento precedente.

Le condizioni ambientali sono caratterizzate da un cielo sereno ma ventoso, con una *Ta* di 8,1°C, una velocità del vento di 6,27 m/s e U_{rel} del 45%[206].

Data	07/02/2006		
Ora inizio rilevamento	10,23		
Condizioni Meteo	Ta 8,1°C	U_{rel} 45,0%	vento 6,27 m/s
Località	Riserva Naturale delle Saline di Tarquinia(VT)		
Tipologia di intervento	Ripulitura lungo le scoline, sfalcio dell'erba, taglio ricacci arborei		
Tipologia di macchina	Decespugliatore		
Modello	KAWASAKI TH48 con miscela al 5%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	29,5	9,9	17,8
Min (ppm)	0,1	0,0	0,0
MEDIO (ppm)	9,13	1,3	5,1

Tabella 65 Secondo Cantiere di Ripulitura presso la Riserva delle Saline di Tarquinia

[206] Misure del giorno rilevate dalla stazione meteorologica della Riserva delle Saline di Tarquinia

7.2.9 Cantiere di potatura presso il Comune di Soriano

Questo rilievo si è svolto nel Comune di Soriano nel Cimino (VT), il giorno 9 giugno 2006, presso il giardino della Scuola Elementare e Materna "Sant'Eutizio". La durata del campionamento è stata di circa 15 minuti ed ha avuto inizio alle ore 9,40.

Le operazioni svolte sono quelle di manutenzione della siepe della suddetta scuola (potatura). L'attrezzatura impiegata per tale manutenzione era una vecchia motosega da potatura di circa 15 anni:

* ECHO CS3000 con barra di taglio di 25 cm.

Il rilievo dei gas di scarico è stato realizzato ponendo i sensori, MultiRAE PGM-50 Plus e l'UltraRAE PGM-7200, sul giubbetto porta-sensori fatto indossare dall'operatore. Per quanto riguarda il MultiRAE PGM-50, il rilievo è avvenuto in maniera continua, dal momento dell'accensione fino allo spegnimento dell'attrezzo. Riguardo, all'UltraRAE PGM-7200, come sempre, il rilievo non è stato continuo ma intervallato da "stop" per il cambio della fiala del rilevatore.

Le condizioni ambientali erano di cielo sereno ma ventoso, con una *Ta* di 12,0°C, una velocità del vento di 3,13 m/s e U_{rel} del 83%[207].

Data	09/02/2006		
Ora inizio rilevamento	9,36		
Condizioni Meteo	Ta 12,0°C	U_{rel} 83,0%	vento 3,13 m/s
Località	Scuola Media "Sant'Eutizio" nel Comune di Soriano(VT)		
Tipologia di intervento	Potatura siepe		
Tipologia di macchina	Motosega da potatura		
Modello	ECHO CS3000, con barra di taglio di 25 cm, e miscela al 4%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	154,8	200,0	2,1
Min (ppm)	1,1	0,0	0,9
MEDIO (ppm)	19,6	4,0	1,6

Tabella 66 Cantiere di Potatura presso il Comune di Soriano

[207] Misure del giorno rilevate dalla stazione meteorologica di Viterbo (la più vicina all'area studiata)

7.2.10 Cantiere di potatura presso il Comune di Vetralla in Località “Tre Croci”

Questo rilievo si è svolto presso la località “Tre Croci” nel Comune di Vetralla (località Tre Croci), in data 17 febbraio 2006. Il rilevamento è iniziato alle ore 9,40 e si è protratto per circa 30 minuti. Le operazioni di manutenzione verde che sono state monitorate riguardavano la potatura su piattaforma elevatrice (a circa 4 m dal suolo) di una quercia in una piccola aiola urbana. L’attrezzatura impiegata per tale manutenzione era una motosega da potatura:

* KOMATSU ZENDAH G250TS con barra di taglio da 25 cm circa.

Il rilievo dei gas di scarico è stato realizzato ponendo i sensori, MultiRAE PGM-50 Plus e l’UltraRAE PGM-7200, sul giubbetto porta-sensori fatto indossare dall’operatore mentre lavora sulla piattaforma.

Le condizioni ambientali erano caratterizzati da un cielo sereno e presenza di vento, con *Ta* di 17,7°C, una velocità del vento di 2,48 m/s e U_{rel} del 86,8%[208].

Data	17/02/2006					
Ora inizio rilevamento	9,40					
Condizioni Meteo	Ta	17,7°C	U_{rel}	86,8%	vento	2,48 m/s
Località	Comune di Vetralla(VT), Località “Tre Croci”					
Tipologia di intervento	Potatura Quercia					
Tipologia di macchina	Motosega da potatura					
Modello	KOMATSU ZENDAH G250TS con barra di taglio da 25 cm,e miscela al 4%					
Inquinante misurato	**CO**		**VOC**		**C_6H_6**	
Max (ppm)	25,5		2,1		0,0	
Min (ppm)	0,0		0,0		0,0	
MEDIO (ppm)	1,0		0,1		0,0	

Tabella 67 Cantiere di potatura presso il Comune di Vetralla (Località Tre Croci)

7.2.11 Cantiere di potatura presso il Comune di Vetralla

Questo rilievo si è svolto in data 18 febbraio 2006 nel Comune di Vetralla(VT), presso il giardino di un privato, dalle ore 9,10. Il tempo di campionamento è stato di 20

---

208 Misure del giorno rilevate con la Centralina Microclimatica BABUC M

minuti e le operazioni monitorate riguardavano l'abbattimento di un albero di cedro (*Cedrus deodara*) su piattaforma aerea. L'attrezzatura impiegata per tale manutenzione era la motosega:

* KOMATSU G452 con barra di taglio di circa 50 cm.

Il rilievo dei gas di scarico è stato realizzato ponendo i sensori, MultiRAE PGM-50 Plus e l'UltraRAE PGM-7200, nel giubbetto porta-sensori fatto indossare dall'operatore che per eseguire la potatura, impiega una piattaforma elevatrice a circa 8 m dal suolo. Le condizioni ambientali erano di cielo coperto, con una *Ta* di 9,3°C, una velocità del vento di 2,13 m/s e U_{rel} del 81,2%[209].

Data	18/02/2006		
Ora inizio rilevamento	9,10		
Condizioni Meteo	Ta 9,3°C	U_{rel} 81,2%	vento 2,13 m/s
Località	Potatura presso il Comune di Vetralla(VT)		
Tipologia di intervento	Potatura Cedro		
Tipologia di macchina	Motosega		
Modello	KOMATSU G452 con barra di taglio da 50 cm e miscela al 4%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	9,9	3,1	6,8
Min (ppm)	0,0	0,3	0,0
MEDIO (ppm)	1,4	1,1	1,9

Tabella 68 Cantiere di potatura presso il Comune di Vetralla

7.2.11 Cantiere di potatura e abbattimento presso l'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia

Questo cantiere è stato avviato ad hoc per i campionamenti in questione che si sono svolti (di nuovo), presso l'Azienda Agraria dell'Università degli Studi della Tuscia(VT), il giorno 1 marzo 2006 alle ore 10,14.

Il tempo di campionamento è stato di 40 minuti e sono state eseguite le seguenti tipologie di rilevamento:

1. rilevamento durante il normale utilizzo dell'attrezzature;

[209] Misure del giorno rilevate con la Centralina Microclimatica BABUC M

2. rilevamento nelle condizioni peggiori (di massima esposizione);
3. rilevamento con alimentazione della macchina a miscela ecologica (Aspen 2T[210]).

La macchina scelta per lo svolgimento dei test è stato il decespugliatore ALPINA VIP52, con il quale è stato simulato il taglio di erba ed arbusti. Per condizioni peggiori si intende che la sonda di prelievo è stata posta in prossimità del tubo di scappamento della macchina. Ovviamente nel caso del decespugliatore questa situazione è lungi dal verificarsi, ma nel caso delle motoseghe, vista la tipologia stessa degli interventi, le vie respiratorie dell'operatore si trovano spesso in prossimità della marmitta della macchina. Pertanto lo studio di questo "caso peggiore" serve a dimostrare l'elevata concentrazione di inquinanti aerodispersi emessi dalle attrezzature portatili in certe condizioni, e potenzialmente respirabili dal lavoratore che le usa.

Le condizioni ambientali rilevate durante il campionamento erano caratterizzate da cielo sereno, con una *Ta* di 11,29°C, una velocità del vento di 3,13 m/s e U_{rel} del 70,8%[211].

Data	01/03/2006		
Ora inizio rilevamento	10,14		
Condizioni Meteo	Ta 11,29°C	U_{rel} 70,8%	vento 3,13 m/s
Località	Azienda Agraria Università della Tuscia (VT)		
Tipologia di intervento	Sfalcio dell'erba		
Tipologia di macchina	Decespugliatore		
Modello	ALPINA VIP52 con miscela al 4%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	1292,7	820,8	0,5
Min (ppm)	0,0	0,0	0,0
MEDIO (ppm)	59,4	34,7	0,3

Tabella 69 Cantiere di Ripulitura dell'Azienda Agraria

[210] Confronta il Paragrafo 6.1.6.1
[211] Misure del giorno rilevate dalla stazione meteorologica dell'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia

Data	01/03/2006		
Ora inizio rilevamento	10,24		
Condizioni Meteo	Ta 11,29°C	U_{rel} 70,8%	vento 3,13 m/s
Località	Azienda Agraria Università della Tuscia (VT)		
Tipologia di intervento	Sfalcio dell'erba		
Tipologia di macchina	Decespugliatore		
Modello	ALPINA VIP52 con miscela al 4%		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	1293,0	1322,1	49,1
Min (ppm)	44,4	9,2	49,1
MEDIO (ppm)	810,5	110,5	49,1

Tabella 70 Cantiere di Ripulitura dell'Azienda Agraria – Condizioni peggiori

Data	01/03/2006		
Ora inizio rilevamento	10,31		
Condizioni Meteo	Ta 11,29°C	U_{rel} 70,8%	vento 3,13 m/s
Località	Azienda Agraria Università della Tuscia (VT)		
Tipologia di intervento	Sfalcio dell'erba		
Tipologia di macchina	Decespugliatore		
Modello	ALPINA VIP52 alimentata con benzina ecologica Aspen		
Inquinante misurato	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
Max (ppm)	1279,0	797,9	110,5
Min (ppm)	0,0	0,0	110,5
MEDIO (ppm)	504,3	49,5	110,5

Tabella 71 Cantiere di Ripulitura dell'Azienda Agraria – Condizioni peggiori con miscela ecologica ed olio

7.2.12 Calcolo della concentrazione di esposizione professionale da valori analitici singoli

Anche questa procedura riprende quanto riportato nella norma tecnica UNI 689 che si applica esclusivamente quando il valore limite è stato fissato come media ponderata di 8 h. Il termine "periodo di riferimento di 8 h" si riferisce alla procedura in cui le esposizioni professionali in qualsiasi periodo di turno sono considerate equivalenti a una singola esposizione uniforme per 8 h di esposizione (media ponderata di 8 h TWA).

La TWA di 8 h si può raffigurare matematicamente con l'Equazione 14 (Figura 89)[212].

[212] Norma tecnica UNI EN 689:1997, Appendice "b" – Calcolo della concentrazione di esposizione professionale da valori analitici singoli

$$\frac{\sum c_i t_i}{\sum t_i} = \frac{c_1 t_1 + c_2 t_2 + \ \ldots\ldots + c_n t_n}{8}$$

dove:

c_i è la concentrazione di esposizione professionale;

t_i è il corrispondente tempo di esposizione in ore;

$\sum_i^n t_i$ è la durata del turno espressa in ore.

Figura 89

Pertanto il passo successivo dell'elaborazione è quello di valutare il tempo effettivo di lavoro in modo da estrapolare il tempo di esposizione espresso in ore.

Purtroppo per le tipologie di lavoro considerate, non'è facile individuare le varie fasi dell'attività lavorativa in quanto sono fortemente influenzate dalla stagionalità, visto che con l'arrivo della bella stagione si lavora di più, e dalle condizioni climatiche (il lavoro si svolge all'aperto e prevalentemente in autunno-inverno) che se molto sfavorevoli, determinano l'interruzione del lavoro.

Tuttavia in base all'esperienza diretta, l'attività in esame è da definirsi molto dura, soprattutto quella che si svolge in bosco. I ritmi di lavoro che si applicano negli altri ambiti di lavoro, anche moto faticosi come il settore dell'edilizia e dell'agricoltura, male si applicano alle situazioni studiate. Infatti stando a contatto con i boscaioli si percepisce una "tensione" a finire presto il lavoro in quanto questo, a causa di un improvviso mutamento del clima per le ragioni appena viste, può interrompersi e con esso la possibilità di guadagnare il denaro (trattasi di un lavoro continuativo).

Stabilire perciò il momento in cui far iniziare o terminare il lavoro o una pausa appare assai difficile.

7.2.12.1 Valutazione del tempo effettivo di lavoro

Il termine "periodo di riferimento di 8 h" si riferisce alla procedura in cui le esposizioni professionali in qualsiasi periodo di turno di lavoro sono considerate equivalenti a una singola esposizione uniforme per 8 h di esposizione (media ponderata di 8 h TWA).

Nelle tabelle seguenti è stimata, per ogni “specie temporale”, il corrispettivo valore in minuti ed ore, riscontrabile durante le attività di *utilizzazione forestale* e di *manutenzione del verde*.

Tempo di lavoro h	Mansione	Esposizione	Tempo h
Dalle 7,00 alle 9,00	Inizio attività con l’attrezzatura portatile	Si	2
Dalle 9,00 alle 9,30	Pausa	No	0,5
Dalle 9,30 alle 12,00	Attività con l’attrezzatura portatile	Si	2,5
Dalle 12,00 alle 13,00	Pausa pranzo	No	1
Dalle 13,00 alle 15,00	Attività con l’attrezzatura portatile	Si	2
Dalle 15,00	Fine attività		
		Totale	8
		Tempo di riposo	1,5
		Tempo effettivo di lavoro	6,5

Tabella 72 Fasi del lavoro in bosco e della manutenzione del verde

Dal tempo effettivo di lavoro andranno decurtati gli altri momenti in cui l’operatore non’è esposto, per ragioni diverse dalle pause e che risultano dallo studio effettuato nella Tabella 72[213], realizzato sulla base di quanto si è potuto osservare nel corso delle indagini in campo.

	Sigla	Tipologia tempo	Descrizione	min	h
Tempo operativo To = (Te + Ta)	Te	Tempo effettivo		480	8,00
	Ta	Tempo accessorio	Tempo per i rifornimenti (*)	35	0,58
			Tempo per la manutenzione	10	0,17
	Tu	Tempo di impiego	Tempo di preparazione sul luogo	10	0,17
			Tempo morto evitabile	5	0,08
			Tempo morto inevitabile	0	0,00
			Tempo di riposo(**)	60	1,50
T (To + Tu)			**Tempo totale**	480	8,00
			Tempo totale esposizione	330	5,5

(*) Si è considerato un tempo di 5’ necessario al rifornimento, ripetuto per 7 volte al giorno (circa ad ogni ora)

(**) Come calcolato nella Tabella 71 – Fasi del lavoro in bosco e della manutenzione del verde

Tabella 73 Analisi dei tempi di lavoro

[213] Analisi dei tempi di lavoro. P.Biondi *“Meccanica Agraria”* – 1999

7.2.12.2 Calcolo delle esposizioni personali e valutazione del campo di azione

Nella tabella seguente sono ricapitolati le concentrazioni rilevate nel corso di ogni campionamento, accorpate (con media aritmetica) nel caso della stessa tipologia di intervento e della stessa macchina impiegata. Da questi termini si estrapoleranno per ogni agente inquinante, i relativi valori di esposizione personale e la valutazione del rischio, che può essere moderato o non moderato[214].

Per quanto concerne il tempo di esposizione computato nella Tabella 72 (Tempo totale di esposizione), verrà assommato ad esso anche il tempo per i rifornimenti delle attrezzature, dato che questo particolare momento dell'attività lavorativa, non è esente da rischi chimici, soprattutto a monte di quanto osservato nel corso delle analisi condotte sulle esalazioni della tanica[215].

Nell'applicazione della Equazione 14, avremo perciò che *c1* rappresenta la concentrazione dell'inquinante aerodisperso misurato nel corso del campionamento, *t1* il tempo totale di esposizione in base all'analisi del paragrafo precedente[216], *c2* la concentrazione dell'agente tossico alla tanica (fase di rifornimento) e *t2* la durata del rifornimento. Anche in questo caso l'elaborazione è stata agevolata dall'utilizzo di un foglio di calcolo Microsoft Excel.

Dati i valori limite considerati[217] e visto il D.Lgs. 25/2002, il limite per accettare come "moderato" il rischio di esposizione, per ogni agente inquinante, è pari ad 1/10 del proprio valore limite di soglia. Tale valutazione si ottiene calcolando *l'indice della sostanza* come si riportato nella norma tecnica UNI EN 689.

---

[214] D.Lgs. 25/2002 – Paragrafo 4.5

[215] Confronta il Paragrafo 7.2.2, Tabella 49

[216] Questo tempo è stato supposto uguale per tutte le metodologie di intervento (utilizzazione e manutenzione del verde). Tale scelta è fatta nella consapevolezza che i tempi di esposizione delle attività studiate possono essere minori, tuttavia la normativa e la letteratura ci impone di considerare sempre il caso peggiore che è rappresentato appunto dal tempo di 5,5 ore

[217] Confronta il Paragrafo 4.10

Nelle tabelle successive sono riportati i valori analitici medi rilevati durante ciascun campionamento e la relativa elaborazione, accorpando successivamente, con media aritmetica, tali valori in base alla tipologia di attività svolta ed in base alla macchina impiegata. Dall'elaborazione sono state estromesse le misurazioni rilevate nel corso delle prove condotte presso l'Azienda Agraria dell'Università della Tuscia (casi peggiori).

CO ppm	VOC ppm	C_6H_6 ppm
2,5	0,075	0,1

Tabella 74 Limite per un rischio moderato. E' pari ad 1/10 del valore limite di soglia dell'inquinante su un turno di lavoro – D.Lgs. 25/2002, Paragrafo 4.5.1

Giorno rilievo	Località	Attività	Macchina	CO ppm	VOC ppm	C_6H_6 ppm
11/3/05	Vetralla	Allestimento	Motosega Husqvarna 385 xp	1,1	0,0	1,8
11/3/05	Vetralla	Allestimento	Motosega Husqvarna 385 xp	5,3	0,0	1,8
22/3/05	Vetralla	Abbattimento	Motosega Jonsered cs 2151	18,2	0,0	1,8
23/3/05	Canepina	Allestimento	Motosega Echo	2,0	0,0	0,0
23/3/05	Canepina	Abbattimento	Motosega Husqvama 385 xp	18,7	0,7	1,1
23/3/05	Canepina	Allestimento	Motosega Husqvarna 385 xp	2,4	0,0	0,1
23/3/05	Canepina	Abbattimento	Motosega Echo	39,9	7,4	2,3
23/3/05	Canepina	Abbattimento	Motosega Stihl 066	51,7	1,6	2,9
8/4/05	Piedipaterno	Abbattimento	Motosega Stihl 066	31,4	4,0	0,7
8/4/05	Piedipaterno	Abbattimento	Motosega Stihl 066	23,1	0,5	3,2
13/5/05	Azienda Agraria Unitus	Allestimento	Motosega McCulloch Promac 46	51,3	1,2	0,0
13/5/05	Azienda Agraria Unitus	Allestimento	Motosega Stihl 026	0,1	0,0	0,0
13/5/05	Azienda Agraria Unitus	Allestimento	Motosega Jonsered Classic 2150	15,1	0,2	13,7
1/6/05	Azienda Agraria Unitus	Ripulitura	Decespugliatore Shindaiwa bp45	75,9	0,8	0,1
1/6/05	Azienda Agraria Unitus	Ripulitura	Decespugliatore Shindaiwa bp45	45,2	0,3	0,0
1/6/05	Azienda Agraria Unitus	Ripulitura	Decespugliatore Shindaiwa bp45	43,5	0,5	5,8
31/8/05	Azienda Agraria Unitus	Ripulitura	Decespugliatore Alpina Vip52	9,0	0,9	0,0
10/10/05	Riserva Naturale Tarquinia	Ripulitura	Decespugliatore Kawasaki th48	10,4	0,2	8,3
10/10/05	Riserva Naturale Tarquinia	Potatura	Motosega Husqvarna 51	26,2	1,0	8,2
10/10/05	Riserva Naturale Tarquinia	Falciatura	Falciatrice Orec hr661	2,6	0,1	0,9
7/2/06	Riserva Naturale Tarquinia	Ripulitura	Decespugliatore Kawasaki th48	9,1	1,3	5,1
9/2/06	Soriano	Potatura	Motosega(*) Echo cs3000	19,6	4,0	1,6
17/2/06	Vetralla	Potatura	Motosega(*) Komatsu Zendah g250ts	1,0	0,1	0,0
18/2/06	Vetralla	Potatura	Motosega Komatsu g452	1,4	1,1	1,9
1/3/06	Azienda Agraria Unitus	Falciatura	Decespugliatore Alpina vip52	59,4	34,7	0,3

(*) Motoseghe per potature impugnabili con una sola mano (per potatura)

(**) Falciatrice con motore a quattro tempi

Nota:

Le misurazioni effettuate in condizioni peggiori con il decespugliatore Alpina Vip52 presso l'Azienda Agraria dell'Università(Unitus)il giorno 1/3/2006della Tuscia, non sono fatte oggetto dell'elaborazione riportata nelle tabelle successive

Tabella 75 Riepilogo emissioni rilevate durante il campionamento

Luogo e data del rilievo	Attività	Concentrazione della esposizione professionale CO ppm	VOC ppm	C_6H_6 ppm	Indice della sostanza in base a quanto riportato dal D.Lgs. 25/2002 o dalla UNI EN 689:1997 (rosso = rischio non moderato) CO	VOC	C_6H_6
Vetralla 11/3/05	Allestimento	0,9	0,4	1,4	0,0	**0,5**	**1,4**
Vetralla 11/3/05	Allestimento	3,8	0,4	1,4	**0,2**	**0,5**	**1,4**
Vetralla 22/3/05	Abbattimento	12,7	0,4	1,4	**0,5**	**0,5**	**1,4**
Canepina 23/3/05	Allestimento	1,5	0,4	0,2	0,1	**0,5**	**0,2**
Canepina 23/3/05	Abbattimento	13,0	0,9	0,9	**0,5**	**1,1**	**0,9**
Canepina 23/3/05	Allestimento	1,8	0,4	0,2	0,1	**0,5**	**0,2**
Canepina 23/3/05	Abbattimento	27,6	5,5	1,7	**1,1**	**7,3**	**1,7**
Canepina 23/3/05	Abbattimento	35,7	1,5	2,2	**1,4**	**2,0**	**2,2**
Piedipaterno 8/4/05	Abbattimento	21,7	3,1	0,6	**0,9**	**4,2**	**0,6**
Piedipaterno 8/4/05	Abbattimento	16,0	0,7	2,4	**0,6**	**1,0**	**2,4**
Azienda Agraria Unitus 13/5/05	Allestimento	35,4	1,2	0,2	**1,4**	**1,6**	**0,2**
Azienda Agraria Unitus 13/5/05	Allestimento	0,2	0,4	0,2	0,0	**0,5**	**0,2**
Azienda Agraria Unitus 13/5/05	Allestimento	10,5	0,5	9,6	**0,4**	**0,7**	**9,6**
Azienda Agraria Unitus 1/6/05	Ripulitura	52,3	0,9	0,2	**2,1**	**1,2**	**0,2**
Azienda Agraria Unitus 1/6/05	Ripulitura	31,2	0,6	0,2	**1,2**	**0,8**	**0,2**
Azienda Agraria Unitus 1/6/05	Ripulitura	30,1	0,7	4,2	**1,2**	**1,0**	**4,2**
Azienda Agraria Unitus 31/8/05	Ripulitura	6,4	1,0	0,2	**0,3**	**1,3**	**0,2**
Riserva Naturale Tarquinia 10/10/05	Ripulitura	7,3	0,5	5,9	**0,3**	**0,7**	**5,9**
Riserva Naturale Tarquinia 10/10/05	Potatura	18,2	1,1	5,8	**0,7**	**1,4**	**5,8**
Riserva Naturale Tarquinia 10/10/05	Falciatura	1,9	0,4	0,8	0,1	**0,6**	**0,8**
Riserva Naturale Tarquinia 10/10/05	Ripulitura	6,4	1,3	3,7	**0,3**	**1,7**	**3,7**
Soriano 9/2/06	Potatura	13,6	3,1	1,3	**0,5**	**4,2**	**1,3**
Vetralla 17/2/06	Potatura	0,8	0,4	0,2	0,0	**0,6**	**0,2**
Vetralla 18/2/06	Potatura	1,1	1,1	1,5	0,0	**1,5**	**1,5**
Azienda Agraria Unitus 1/3/06	Falciatura	41,0	24,2	0,4	**1,6**	**32,3**	**0,4**

Tabella 76 Concentrazioni dell'esposizione professionale degli inquinanti aerodispersi

Data rilievo	Luogo del rilievo	Tipologia di Attività	CO	VOC	C_6H_6	Indice della sostanza (**rosso** = **rischio non moderato**)		
			ppm	ppm	ppm	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
11/03/05	Vetralla	**Allestimento**	2,4	0,4	1,4	0,1	**0,5**	**1,4**
22/03/05	Vetralla	**Abbattimento**	12,7	0,4	1,4	**0,5**	**0,5**	**1,4**
23/03/05	Canepina	**Allestimento**	1,7	0,4	0,2	0,1	**0,5**	**0,2**
23/03/05	Canepina	**Abbattimento**	25,4	2,6	1,6	**1,0**	**3,5**	**1,6**
08/04/05	Piedipat.	**Abbattimento**	18,9	1,9	1,5	**0,8**	**2,6**	**1,5**
13/05/05	Azienda Agraria Unitus	**Allestimento**	15,4	0,7	3,3	**0,6**	**0,9**	**3,3**
01/06/05	Azienda Agraria Unitus	**Ripulitura**	37,9	0,7	1,5	**1,5**	**1,0**	**1,5**
31/08/05	Azienda Agraria Unitus	**Ripulitura**	6,4	1,0	0,2	**0,3**	**1,3**	**0,2**
10/10/05	Riserva Naturale Tarquinia	**Ripulitura**	6,9	0,9	4,8	**0,3**	**1,2**	**4,8**
10/10/05	Riserva Naturale Tarquinia	**Potatura**	18,2	1,1	5,8	**0,7**	**1,4**	**5,8**
10/10/05	Riserva Naturale Tarquinia	**Falciatura**	1,9	0,4	0,8	0,1	**0,6**	**0,8**
09/02/06	Soriano	**Potatura**	13,6	3,1	1,3	**0,5**	**4,2**	**1,3**
17/02/06	Vetralla	**Potatura**	1,0	0,8	0,8	0,0	**1,1**	**0,8**
01/03/06	Azienda Agraria Unitus	**Falciatura**	41,0	24,2	0,4	**1,6**	**32,3**	**0,4**

Tabella 77 Concentrazioni dell'esposizione professionale distinte in base all'attività svolta

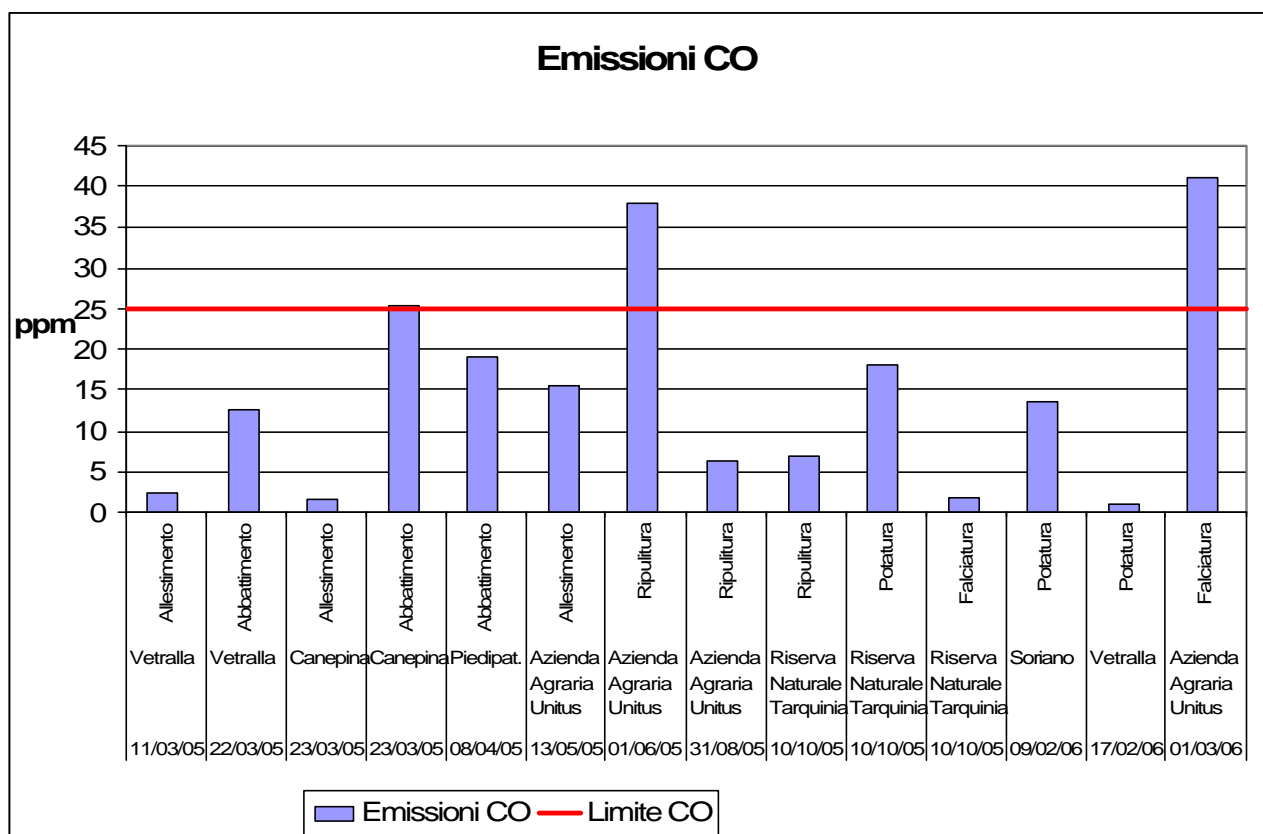



Figura 90 Confronto emissioni-limiti del CO per tipologia di lavoro svolto

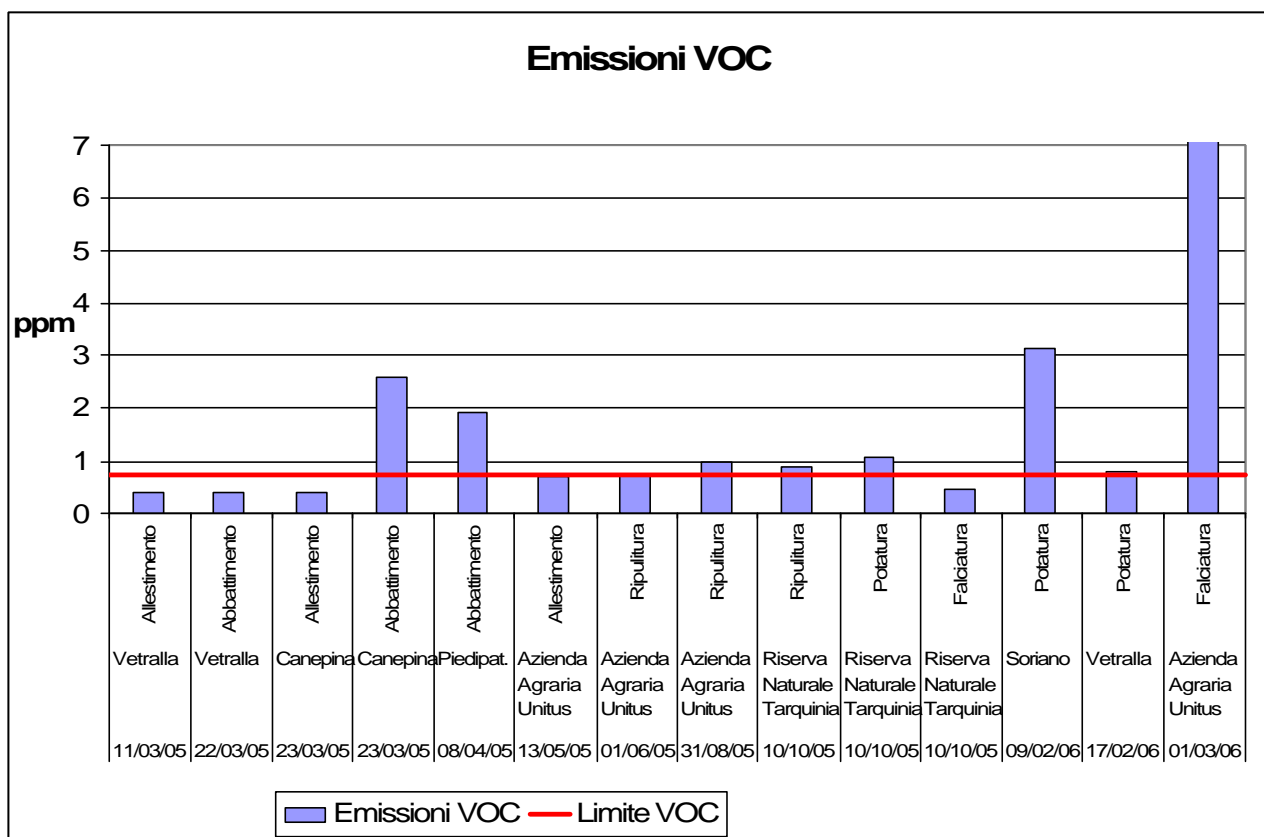



Figura 91 Confronto emissioni-limiti dei VOC per tipologia di lavoro svolto

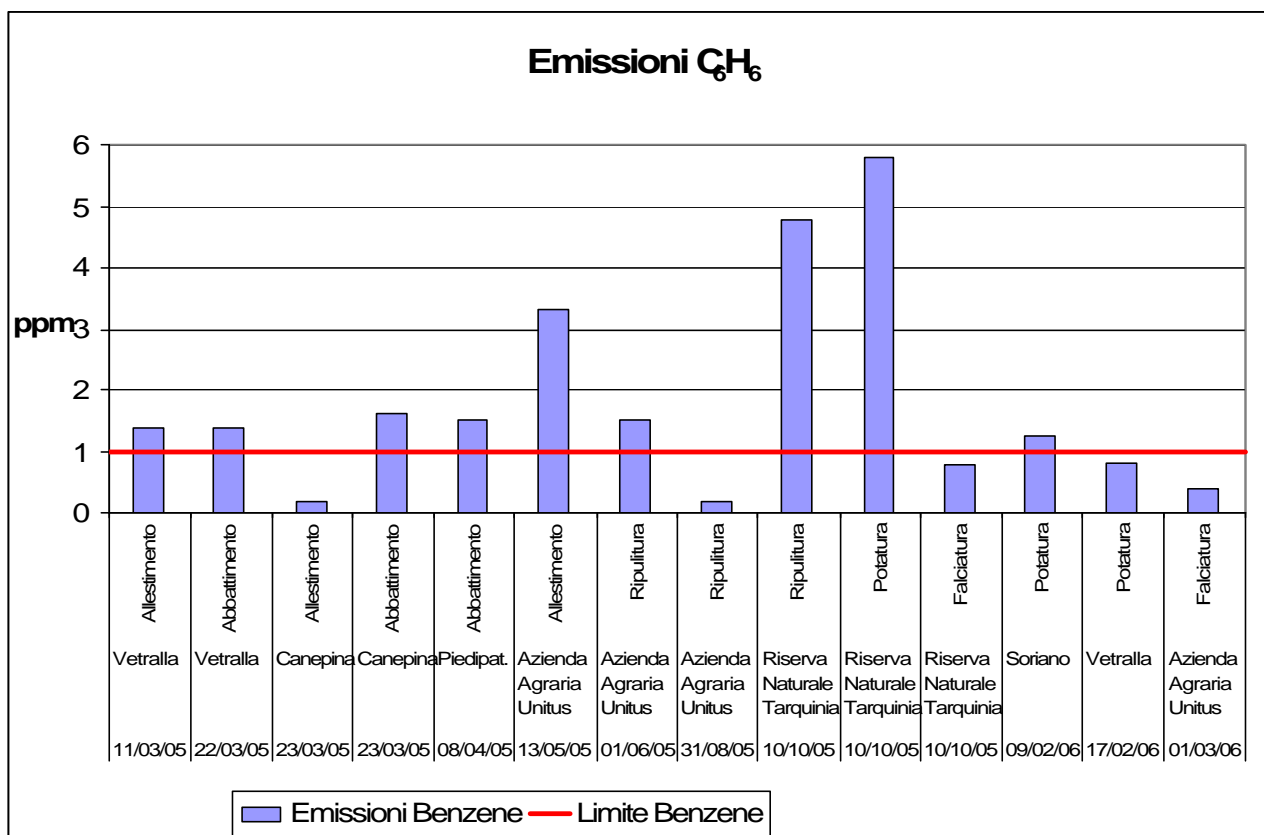



Figura 92 Confronto emissioni-limiti del Benzene per tipologia di lavoro svolto

Data rilievo	Luogo rilievo	Tipologia e Modello di macchina	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**	Indice della sostanza (rosso = **rischio non moderato**)		
			ppm	ppm	ppm	**CO**	**VOC**	**C_6H_6**
11/03/05	Vetralla	**Motosega Husqvarna 385XP**	2,4	0,4	1,4	0,1	**0,5**	**1,4**
22/03/05	Vetralla	**Motosega Jonsered CS2151**	12,7	0,4	1,4	**0,5**	**0,5**	**1,4**
23/03/05	Canepina	**Motosega Echo**	14,6	2,9	1,0	**0,6**	**3,9**	**1,0**
23/03/05	Canepina	**Motosega Husqvarna 385XP**	7,4	0,6	0,6	**0,3**	**0,8**	**0,6**
23/03/05	Canepina	**Motosega Stihl 066**	35,7	1,5	2,2	**1,4**	**2,0**	**2,2**
08/04/05	Piedipaterno	**Motosega Stihl 066**	18,9	1,9	1,5	**0,8**	**2,6**	**1,5**
13/05/05	Azienda Agraria Unitus	**Motosega McCulloch Promac 46**	35,4	1,2	0,2	**1,4**	**1,6**	**0,2**
13/05/05	Azienda Agraria Unitus	**Motosega Stihl 026**	0,2	0,4	0,2	0,0	**0,5**	**0,2**
01/06/05	Azienda Agraria Unitus	**Decespugliatore Shindaiwa BP45**	37,9	0,7	1,5	**1,5**	**1,0**	**1,5**
31/08/05	Azienda Agraria Unitus	**Decespugliatore Alpina Vip52**	6,4	1,0	0,2	**0,3**	**1,3**	**0,2**
10/10/05	Riserva Naturale Tarquinia	**Decespugliatore Kawasaki TH48**	7,3	0,5	5,9	**0,3**	**0,7**	**5,9**
10/10/05	Riserva Naturale Tarquinia	**Motosega Husqvarna 51**	18,2	1,1	5,8	**0,7**	**1,4**	**5,8**
10/10/05	Riserva Naturale Tarquinia	**Falciatrice Orec HR661**	1,9	0,4	0,8	0,1	**0,6**	**0,8**
07/02/06	Riserva Naturale Tarquinia	**Decespugliatore Kawasaki TH48**	6,4	1,3	3,7	**0,3**	**1,7**	**3,7**
09/02/06	Soriano	**Motosega(*) Echo CS3000**	13,6	3,1	1,3	**0,5**	**4,2**	**1,3**
17/02/06	Vetralla	**Motosega(*) Komatsu Zendah G250TS**	0,8	0,4	0,2	0,0	**0,6**	**0,2**
18/02/06	Vetralla	**Motosega Komatsu G452**	1,1	1,1	1,5	0,0	**1,5**	**1,5**

(*) Motoseghe per potature impugnabili con una sola mano

Figura 8 Concentrazioni dell'esposizione professionale distinte in base alla macchina

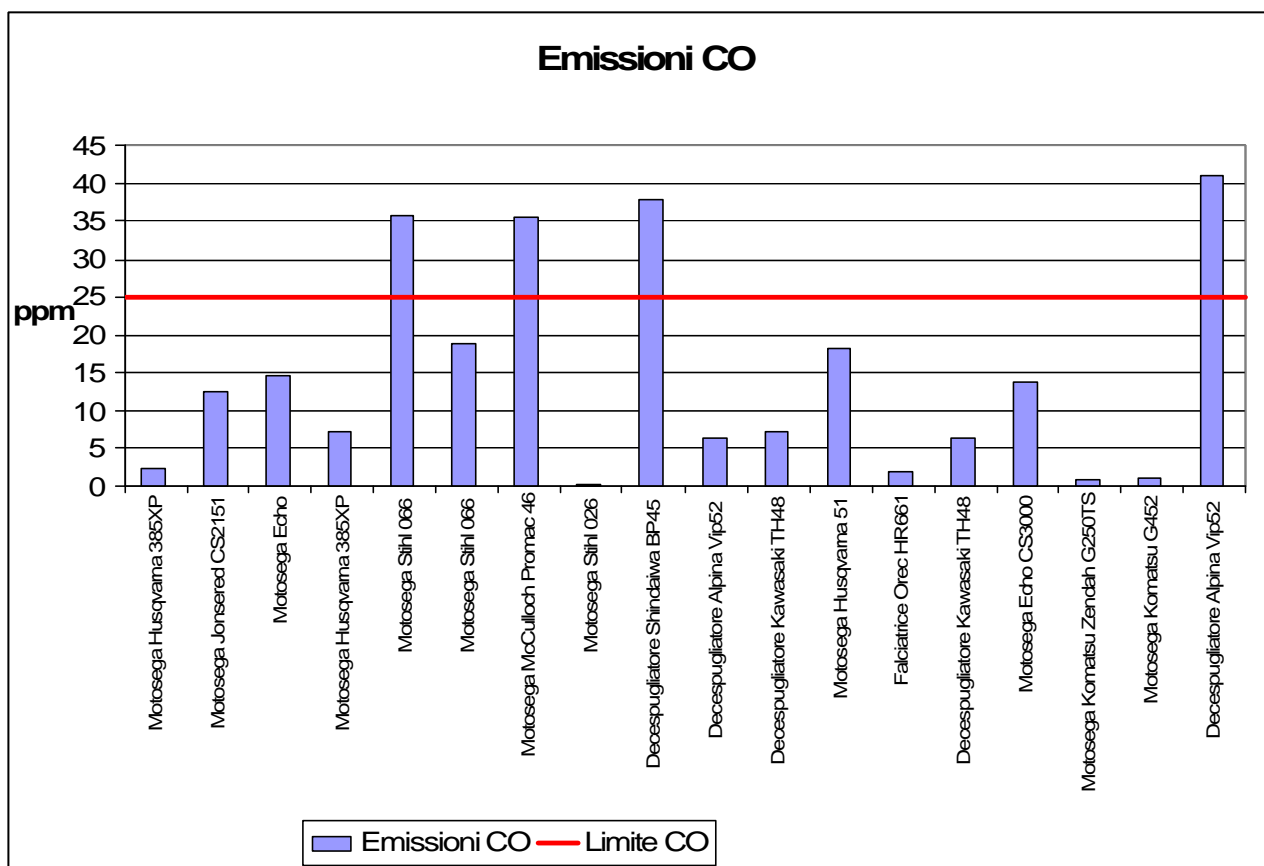



Figura 9 Confronto emissioni-limiti del CO per tipologia di macchina

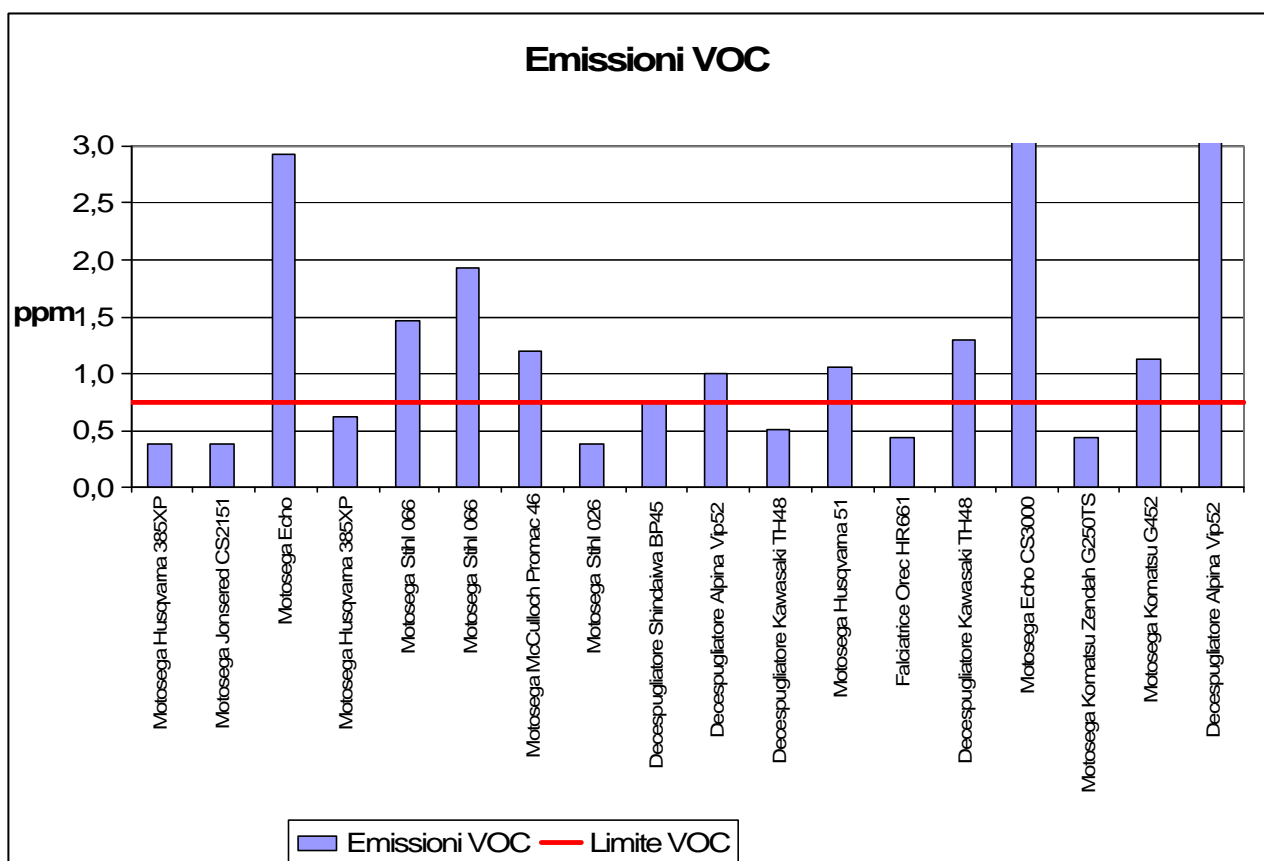



Figura 10 Confronto emissioni-limiti del VOC per tipologia di macchina

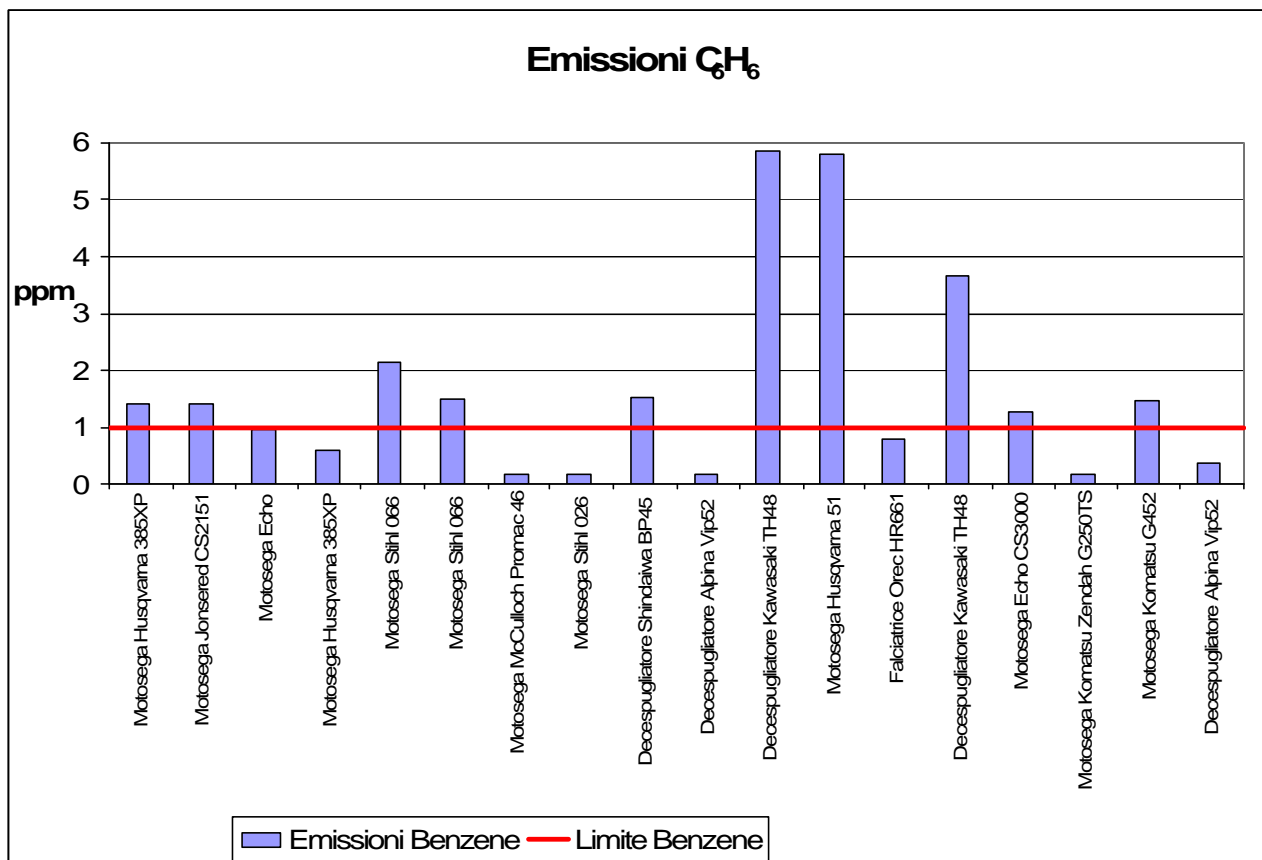



Figura 11 Confronto emissioni-limiti del Benzene per tipologia di macchina

Cantiere	Modello	Tipologia	Cilindrata	Motore	Potenza	Numero massimo giri	Peso
			cm^3		kW	rpm	kg
Azienda Agraria 31/08/2005	Alpina Vip 52	decespugliatore	51,0	2 tempi	2,1	8.000	7,8
Soriano 09/02/2006	Echo CS 3000	motosega per potatura	30,1	2 tempi	1,1	9.000	3,2
Canepina 23/03/05	Husqvarna 385XP	motosega	84,7	2 tempi	4,6	13.000	3,5
Saline di Tarquinia 10/10/2005	Husqvarna 51 CS	motosega	49,4	2 tempi	2,3	13.000	4.8
Vetralla 22/03/2005	Jonsered CS 2151	motosega	51,7	2 tempi	2,4	10.000	5,0
Saline di Tarquinia 10/10/2005 07/02/2006	Kawasaki TH 48	decespugliatore	48,6	2 tempi	1,4	10.000	11
Vetralla 18/02/06	Komatsu G452	motosega	40,1	2 tempi	1,2	11.000	4,4
Tre Croci 17/02/2006 Vetralla 18/02/2006	Komatsu Zeldah G250 TS	motosega per potatura	25,4	2 tempi	1,9	10.000	2,9
Azienda Agraria 13/05/05	McCulloch Promac46	motosega	46	2 tempi	2,4	11.000	5,5
Saline di Tarquinia 10/10/2005	Orec HR 661	rasaerba a flagelli	296	4 tempi	4,8	9.000	135
Azienda Agraria 01/06/2005	Shindaiwa BP 45	decespugliatore	41,5	2 tempi	1,7	11.500	10,5
Azienda Agraria 13/05/06	Stihl 026 (MS 260)	motosega	50,2	2 tempi	2,6	10.000	4,8
Piedipaterno 08/04/05 Canapina 23/03/05	Stihl 066 (MS 660)	motosega	91,6	2 tempi	5,2	10.000	7,3

Nota: le macchine non sono dotate di catalizzatore

Tabella 78 Caratteristiche delle macchine impiegate durante le attività di cantiere

Capitolo 8. Conclusioni e Proposte

8.1 Considerazioni finali

Per quanto concerne la parte delle sperimentazione relativa alla valutazione della conformità della motosega ALPINA P500 alimentata con miscele ecologiche, alla Direttiva Europea 2002/88/CE, si possono estrapolare alcune considerazioni.

In merito alla *prima fase di attuazione*[218], si osserva il superamento dei limiti, solo per le emissioni di monossido di carbonio (*CO*), con l'utilizzo della miscela a base del lubrificante *Low Smoke* e della benzina ecologica *Aspen*, entrambe fornite dall'Husqvarna.

Si rammenta che questa fase di omologazione doveva essere recepita dalla ditta costruttrice di attrezzature portatili entro l'11 agosto 2004, e pertanto anche se in generale il risultato finale delle emissioni misurate è positivo, risulta tuttavia urgente l'adeguamento delle macchine all'utilizzo di queste miscele di nuova concezione.

Per quel che riguarda la *seconda fase* di attuazione (applicazione nel nostro caso entro l'1 agosto 2008), si rileva il superamento dei limiti del *CO* e della sommatoria $HC+NO_X$ (idrocarburi e ossidi di azoto), con la macchina alimentata rispettivamente a *Low Smoke* e *Aspen* e solo a benzina ecologica *Aspen*, per l'ultima tipologia di aerodispersi. Tuttavia per questa fase, le emissioni con le varie miscele impiegate, si approssimano ai limiti consentiti dalla legge.

Da una lettura dei dati del paragrafo 7.1.4, si osserva come in molti casi le decantate proprietà ecologiche delle miscele testate, non trovano riscontri e addirittura, nel confronto tra la benzina normale impiegata nel corso dei test e quella alchilata (*Aspen*), la concentrazione degli idrocarburi allo scarico è doppia. Però, molto probabilmente, la

[218] Confronta il Paragrafo 4.9.2

composizione degli *HC* è costituita da idrocarburi per così dire “buoni”, cioè privi del famigerato *benzene* che crea molti problemi alla salute dell’uomo. Un altro aspetto che sembra affliggere la macchina alimentatala a benzina alchilata *Aspen*, è l’elevata concentrazione di monossido di carbonio misurata allo scarico. Tale emissione è sempre indice di una cattiva combustione che avviene nella camera di scoppio, che si realizza quando il rapporto aria/combustibile è spostato nel senso di quest’ultimo termine. Ciò è imputabile dal fatto che forse, queste nuove benzine ecologiche, presentano un ridotto numero di test su tutte le tipologie di macchine che potenzialmente ne potrebbero essere alimentate, mentre “si sposano” bene con le attrezzature per le quali sono state concepite, come i decespugliatori. Si suppone inoltre che, come visto per la benzina Aspen fornita dall’Husqvarna, questa sia particolarmente adatta (o adattata) alle motorizzazioni prodotte da quest’ultima ditta, leader nel settore mondiale per quel che concerne i motori a due tempi e alle attrezzature portatili.

In conclusione, secondo le analisi condotte, le miscele ecologiche che danno maggiori garanzie di scarse emissioni, nel rispetto quindi dell’ambiente e dell’uomo, sono quelle a base del lubrificante Castrol Greentec XTS e dello STIHL HT Plus Bio. Si auspica nel futuro di estendere il campo di applicazione della sperimentazione anche alla valutazione dell’influenza di queste miscele sulle prestazioni della macchina e di impiegare un maggior numero di modelli per avere un quadro statistico più ampio.

Per quel che riguarda invece le valutazione del rischio di esposizione agli inquinanti aerodispersi da parte del lavoratore, il quadro che ne emerge è a dir poco allarmante.

Dopo l’elaborazione per il calcolo delle esposizioni personali delle misure effettuate nel corso dei campionamenti, risulta che, in base a quanto riportato dal D.Lgs. 25/2002, solo 7 cantieri su 25, risultano avere, per le emissioni di *CO*, un rischio definibile

moderato[219]. In tutti gli altri campionamenti, il rischio chimico relativo all'inalazione, del *CO*, dei *VOC* e del *Benzene* risulta essere di tipo *non moderato*.

La situazione è invece più articolata qualora si confrontino le emissioni valutate per ogni categoria di inquinante, con i corrispettivi limiti (Paragrafo 4.10). Nella valutazione delle emissioni distinte in base alla tipologia del lavoro svolto, per quel che concerne il monossido di carbonio, l'attività che sicuramente presenta maggiori problematiche, è quella selvicolturale dell'abbattimento e quella della manutenzione del verde, denominata "falciatura", mentre l'allestimento e la potatura sembrano da questo punto di vista, dare i problemi minori.

Il contesto si fa invece più critico quando si parla dei *VOC* e del *benzene*; in tutti i cantieri si rilevano concentrazioni che superano o che nel migliore dei casi, stanno al limite con le soglie stabilite per legge.

Per quanto riguarda il benzene, non ci deve meravigliare del fatto che la concentrazione più elevata si riscontri proprio nell'ambito dei cantieri per la potatura, in quanto in queste situazioni, l'operatore lavora completamente "immerso" nella chioma delle piante di cui sta facendo la manutenzione, con il conseguente ristagno dei gas di scarico in prossimità delle vie aeree dello stesso. Il caso più emblematico è quello della potatura effettuata presso la Riserva Naturale di Tarquinia in data 10 ottobre 2005, dove le concentrazioni di *benzene* sono di 6 volte superiori ai limiti previsti. Inoltre per quest'ultima sostanza è da tenere conto che si è considerato il valore limite di soglia (TLV TWA) della legislazione italiana (D.Lgs. n.66/2000), che lo fissa ad 1 ppm, mentre *l'ACGIH* ed il *NIOSH* rispettivamente a 0,5 ppm e 0,1 ppm, quindi a dei valori nettamente più bassi.

Dalla distinzione in base alla tipologia e al modello della macchina, ciò che si evince rispecchia pienamente quanto si è visto in precedenza: le motoseghe medio-pesanti

[219] Confronta la Tabella 75 del Paragrafo 7.2.12.2

impiegate nei cantieri di abbattimento e di potatura danno i maggiori problemi riguardo le emissioni dei tre aerodispersi studiati. In questo ambito, quelle più rispettose della salute dell'operatore risultano essere la motosega Husqvarna 385XP, la Stihl 026 e la falciatrice Orec a quattro tempi.

Nelle emissioni delle macchine è un forte fattore discriminante, la vetustà e l'efficienza delle stesse. Quest'ultimo aspetto si mantiene attraverso l'osservanza scrupolosa delle misure di manutenzione ordinaria e straordinaria che le ditte produttrici riportano nei manuali di uso e manutenzione e che purtroppo non sempre sono osservate con la dovuta scadenza o eseguite da personale adeguatamente preparato.

Gli altri fattori che influenzano negativamente le concentrazioni di aerodispersi, sono sia di natura tecnica che ambientale: per quanto riguarda il primo fattore, si osserva spesso una scarsa competenza degli operatori riguardo la procedura di carburazione della macchina, che gioca un ruolo preminente nella composizione dei gas di scarico e quindi dell'efficienza della combustione. Quale fattore ambientale principale, nella riduzione delle concentrazioni delle emissioni inquinanti delle attrezzature in prossimità delle vie aeree dell'operatore, è da annoverare la velocità del vento; è ovvio infatti, come l'assenza di vento può far ristagnare in prossimità del lavoratore, la "bolla" di gas tossici generati dalla macchina. In altri casi tuttavia, la presenza di una certa corrente d'aria, ma contraria rispetto l'operatore, soprattutto quando si utilizzano le motoseghe, può sospingere gli inquinanti aerodispersi proprio in faccia all'operatore, ed è per tale ragione, che molto probabilmente, nei cantieri su visti, si sono avute delle impennate nelle concentrazioni dei *VOC* e del *Benzene*.

Un ultimo fattore aggravante dell'esposizione agli inquinanti aerodispersi, è legato essenzialmente alle attività di manutenzione del verde condotte in città, dove ai valori

sopra calcolati bisogna aggiungere il fallout di *CO*, *VOC* e *benzene* ivi presente[220], causato dal traffico veicolare.

Per quanto riguarda invece il fattore temperatura, si osserva come all'aumentare di queste, corrisponde un ristagno dei gas caldi (circa 400°C all'uscita dal tubo di scappamento), data la diminuzione del differenziale termico, mentre viceversa, temperature più "fresche" (come in inverno), consentono una più rapida risalita e quindi dispersione degli inquinanti. L'umidità e quindi l'acqua, sembrerebbe invece giocare un ruolo assorbente nei confronti delle molecole dei composti organici, quali il *benzene*, la *formaldeide* etc., riducendone perciò la loro concentrazione nell'atmosfera di lavoro.

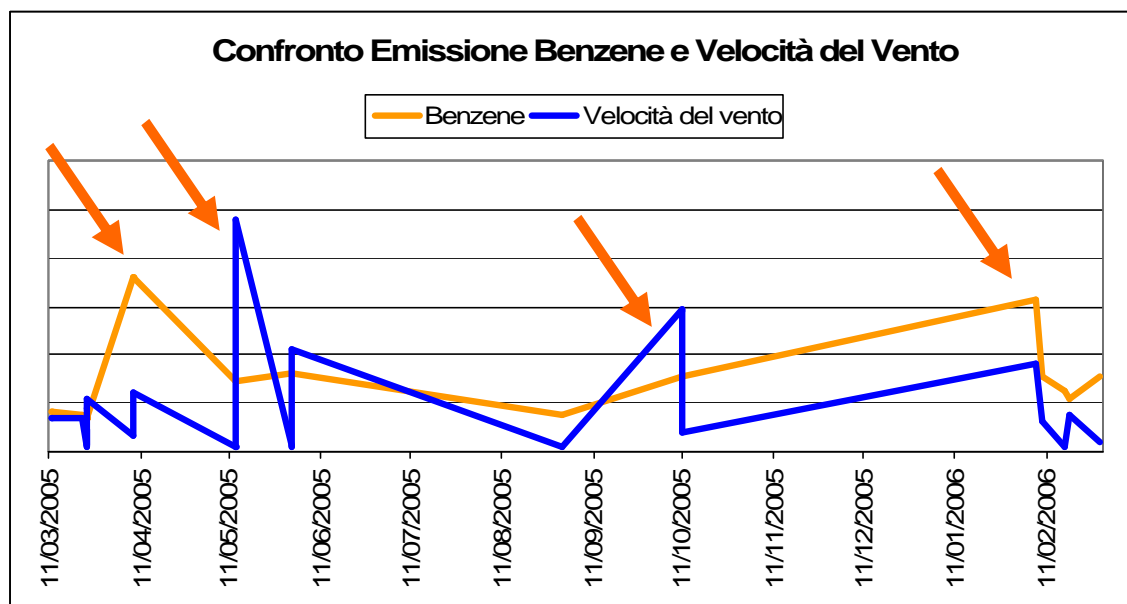



Figura 96 Concentrazione del *Benzene* in funzione della velocità del vento. I punti indicati con le frecce colore arancio, rappresentano i momenti in cui ad una velocità del vento bassa corrisponde un'impennata delle concentrazioni di C_6H_6

In conclusione, quello che emerge è quindi una totale sottovalutazione da parte dei datori di lavoro, del rischio chimico nei confronti dell'operatore che utilizza motoseghe e decespugliatori. Ciò emerge anche da una analisi delle *valutazioni dei rischi* delle imprese

[220] Secondo recenti ricerche la concentrazione in città dei *VOC* è pari a 1÷3 ppm, mentre quella di benzene ammonterebbe a 0,03-0,15 ppm

boschive e di quelle adibite alla manutenzione del verde, dove la menzione di questo aspetto è assolutamente carente o approssimativa.

Dall'esperienza raccolta nel corso di queste misurazioni, al fine di rendere quest'ultime più coincidenti alla realtà, si prevedono i seguenti margini di manovra per un possibile sviluppo della ricerca:

1. Eseguire un solo campionamento della durata dell'intera giornata di lavoro. Per realizzare ciò è necessario essere dotati di campionatori del benzene in grado di effettuare le misurazioni in continuo, senza la necessità di dover sostituire le fiale selettive;

2. Dotarsi di stazioni microclimatiche portatili da far indossare all'operatore e dotate di datalog in grado di memorizzare i parametri ambientali (temperatura, umidità e velocità del vento) in funzione del tempo trascorso, in modo da correlare le concentrazioni degli inquinanti con i parametri ambientali stessi. Inoltre gli anemometri per la misurazione della velocità del vento dovrebbero essere collocate sopra l'elmetto dell'operatore in modo da misurare il vento che impatta frontalmente al soggetto;

3. Migliorare ulteriormente il *gilet di campionamento*, dotandolo di un solo tubicino di aspirazione posto in prossimità della bocca e del naso dell'operatore, sul quale poi applicare, con opportuna derivazione, le sonde degli strumenti di analisi. Ciò dovrebbe ridurre le discrepanze nella misura dei VOC e del Benzene (la concentrazione in ppm dei *VOC* dovrebbe essere maggiore rispetto quella del *benzene* o al limite uguale, per il fatto che i primi sono una miscela di idrocarburi), causata dal fatto che il prelievo avviene in due punti differenti, rispetto l'apparato rino-boccale dell'operatore;

4. Ricercare aziende sensibili al problema e operare in sinergia con le istituzioni competenti (ASL, ISPESL, Ispettorato del lavoro, Camera di commercio, Sindacati etc.).

8.2 Proposte per il futuro

Ad entrambe le valutazioni si applicano le medesime proposizioni; emerge perciò in modo inequivocabile che ormai il propulsore a due tempi è assolutamente incompatibile con gli aspetti della sicurezza e della salute dell'operatore che utilizza le attrezzature portatili nel corso della propria attività e che quindi vanno ricercate valide alternative all'utilizzo di queste macchine. Purtroppo sul quadro tecnologico mondiale, al momento non esiste un efficace sostituto del motore a due tempi, rispettoso sia dell'uomo che dell'ambiente nonché degli aspetti economici legati al consumo di carburante, data la crisi del petrolio e dei combustibili fossili in cui la civiltà contemporanea oggi si rapporta.

Sicuramente l'adozione di propulsori a quattro tempi risulta al momento la via più percorribile ed infatti molte ditte costruttrici (Stihl, Echo, etc.) hanno immesso da tempo sul mercato motoseghe e decespugliatori azionate da questo propulsore. A questo è necessario aggiungere la promozione e lo sviluppo di macchine possibilmente azionate da motori elettrici, risolto il problema dell'autonomia, oppure alimentate a miscele biologiche di origine alcolica (metanolo ed etanolo).

Per quanto riguarda il fattore sicurezza "dell'operatore", i datori di lavoro, per l'eliminazione o riduzione del rischio[221], hanno a loro disposizione oggi sul mercato, motoseghe e decespugliatori dotate di catalizzatori per l'abbattimento delle emissioni di *benzene*[222].

---

[221] Confronta il Paragrafo 4.1
[222] Confronta il Paragrafo 5.3.3

Purtroppo anche con tutte queste accortezze, il rischio chimico generato dai prodotti della combustione delle attrezzature portatili non può essere eliminato del tutto e quindi è necessario attuare le misure contenitive, quali ad esempio l'adozione di idonei DPI (dispositivi di protezione individuali), come ad esempio mascherine a carboni attivi (vedi Figura 97), guanti, tute contro il contatto degli aerodispersi o della benzina.

I dispositivi per la salvaguardia delle vie respiratorie, come i mezzi filtranti, (maschere a filtro, facciali filtranti, etc.) devono essere in grado di filtrare l'aria prelevata dall'ambiente in cui si trova il lavoratore. Questo tipo di protezione che in genere è a facciale intero, proteggendo cosi anche occhi e viso, serve per depurare l'aria inspirata, tramite apposito filtro, da gas e vapori tossici e nocivi. I filtri antigas sono classificati in base al tipo di gas che possono filtrare e sono contraddistinti da un colore specifico relativo al gas "intercettato". Nel caso del *benzene*, data la sua natura organica, la tipologia di filtro corrispondente è quella di colore marrone, cioè quella valida per i vapori organici, per le polveri, i fumi e le nebbie. Per il monossido di carbonio invece, il colore corrispondente è quello grigio a banda nera. Per l'utilizzo simultaneo delle due tipologie di filtri, è necessario l'utilizzo di maschere a doppia presa.

Tuttavia, nell'affermare questa necessità ci si rende conto anche della sua scarsa applicabilità nell'ambito dell'attività in bosco, dove a causa delle condizioni ambientali, tali dispositivi possono risultare fastidiosi e addirittura pericolosi in quanto limitano la percezione dell'operatore. La strada da seguire per trovare il giusto connubio tra comfort e sicurezza e lungi dall'essere tracciata.

Oltre a ciò si rende necessario anche una riorganizzazione di tutta l'attività lavorativa, che deve necessariamente prevedere un maggior numero di pause e, o alternanza con altri lavoratori in modo da ridurre l'esposizione il più possibile.

Tuttavia il cuore della prevenzione passa obbligatoriamente attraverso una formazione ed informazione continua ed adeguata da parte dei dipendenti, soprattutto per ciò che riguarda il rischio chimico che si lega all'utilizzo di queste attrezzature, al corretto impiego delle stesse, alle idonee procedure di carburazione ed infine sull'adozione degli idonei dispositivi di protezione individuale e collettiva. Quest'ultimi sono caratterizzati dalle visite periodiche (annuali nel caso dei boscaioli e degli addetti al verde), da effettuarsi presso il medico del lavoro.

Inoltre considerato, che in base al D.Lgs. n.25/2002, il rischio rilevato nel corso dei test è di tipo *non moderato* nella maggior parte dei casi, è necessario predisporre delle misure specifiche di tutela ai sensi della medesima norma.

Si ricorda infine che queste misure non sono delle semplici proposte, ma degli obblighi di legge alla cui inosservanza, il datore di lavoro, ne risponde ai sensi di legge, sia dal punto di vista civile che panale.

Figura 97 Sistemi per la protezione dell'operatore dai gas di scarico

TIPO DI RISCHIO/ ESPOSIZIONE	RISCHI ACUTI/ SINTOMI	PREVENZIONE	PRIMO SOCCORSO/ MEZZI ESTINGUENTI
INCENDIO	Altamente infiammabile.	NO fiamme libere, NO scintille e NON fumare.	Polvere, AFFF, schiuma, anidride carbonica.
ESPLOSIONE	Miscele vapore/aria sono esplosive. Rischio di incendio ed esplosione: vedi Pericoli Chimici.	Sistemi chiusi, ventilazione, materiale elettrico e impianto di illuminazione antideflagranti. NON utilizzare aria compressa per riempire, versare o trattare. Utilizzare utensileria manuale anti innesco. Prevenire la formazione di cariche elettrostatiche (per es. con messa a terra).	In caso di incendio: mantenere freddi i fusti, ecc., bagnandoli con acqua.
ESPOSIZIONE		EVITARE OGNI CONTATTO!	
· **INALAZIONE**	Vertigine. Sonnolenza. Mal di testa. Nausea. Respiro affannoso. Convulsioni. Stato d'incoscienza.	Ventilazione, aspirazione localizzata, o protezione delle vie respiratorie.	Aria fresca, riposo. Sottoporre all'attenzione del medico.
· **CUTE**	PUO' ESSERE ASSORBITO! Cute secca. Arrossamento. Dolore. (Inoltre vedi Inalazione).	Guanti protettivi. Vestiario protettivo.	Rimuovere i vestiti contaminati. Sciacquare la cute con abbondante acqua o con una doccia. Sottoporre all'attenzione del medico.
· **OCCHI**	Arrossamento. Dolore.	Visiera, o protezione oculare abbinata a protezione delle vie respiratorie.	Prima sciacquare con abbondante acqua per alcuni minuti (rimuovere le lenti a contatto se è possibile farlo agevolmente), quindi contattare un medico.
· **INGESTIONE**	Dolore addominale. Mal di gola. Vomito. (Inoltre vedi Inalazione).	Non mangiare, bere o fumare durante il lavoro.	Risciacquare la bocca. NON indurre il vomito. Sottoporre all'attenzione del medico.

Figura 98 Schede Internazionali di Sicurezza Chimica – Benzene – [www.cdc.gov/niosh/ipcsnit/nitl0015.htlm]

Bibliografia

1. **AA.VV.**, *La sicurezza delle Macchine Agricole*. E.N.A.M.A – ente nazionale per la meccanizzazione agricola – Roma, 2001.

2. **AA.VV.**, *Motoseghe a catena portatile* – Roma, 2003.

3. **AA.VV.**, *Power Equipment Trade, article about Tanaka's Pure Fire Technology*. July/August 1998.

4. **AA.VV.**, *Principali caratteristiche tecniche di motoseghe presenti sul mercato italiano*. C.R.P.A. – centro ricerche produzioni animali – Reggio Emilia, 1990.

5. **ACGIH** (2003), *Indici Biologici di Esposizione, ACGIH 2003*. Giornale degli Igienisti Industriali, AIDII, Milano, gennaio 2004.

6. **Baldini S.**, *Dispense del corso di Utilizzazioni Forestali*, anno accademico 1998/1999.

7. **Baldini S.**, **Fabbri P.**, *Guida all'uso della motosega*. Edagricole, Firenze, 1982.

8. **Baldini S.**, *Guida alla scelta di macchine e attrezzature forestali*. Il Cerilo Editrice, Roma, 1984.

9. **Beccari A.**, **Di Bartolomeo.**, *Valutazione della dosatura mediante analisi dei gas di scarico – I e II parte*. Ingegneria Automotoristica, Ricerca e Sviluppo – vol.48 – n.11/12 – novembre-dicembre 1995.

10. **Belli M.**, **Danieli G. A.**, **Florio G.**, *Appunti di macchine, parte I* . Dipartimento di Meccanica, Università della Calabria, 1981.

11. **Bernini M.**, *Emissioni inquinanti dei motori endotermici utilizzati per motoseghe e decespugliatori: indagine sperimentale.* Tesi di laurea, Università della Tuscia, 2002.

12. **Bezzi S.**, *Lezioni di Chimica Organica*. Photograph, Padova, 1965

13. **Bezzi S**., *Lezioni di Chimica Organica*. Photograph, Padova, 1965

14. **Biondi P**., *Meccanica agraria. Le macchine agricole.* UTET, Torino, 1999.

15. **Burchfield G**., *Lawn & Landscapes, article Moving Forward, Eye Power Equipment.* 11 November 1999.

16. **Cavalli R**. **Menegus G**., *Esposizione ad agenti chimici nell'impiego della motosega – soluzioni tecniche ed organizzative.* Giornale degli Igienisti Industriali – vol.23 – n.4 – ottobre 1998.

17. **Cavalli R**., *L'esposizione dell'operatore forestale a sostanza tossiche derivanti dall'uso della motosega*. Monti e Boschi n.1 – 1994.

18. **Cavalli R**., **Menegus G**., *L'impiego professionale del decespugliatore portatile*. Sherwood – Foreste ed Alberi Oggi n.40 – dicembre 1998.

19. **Consalvi C**., *Indagine sperimentale per la valutazione della esposizione al rischio da rumore per gli addetti all'uso del decespugliatore*. Tesi di laurea, Università della Tuscia, 2000.

20. **De Mauro T**., *Lezioni di Chimica Organica*. Paravia Bruno Mondatori Editori, Torino, 2000

21. **Decreto del Presidente della Repubblica del 24 luglio 1996, n. 459** "*Regolamento per l'attuazione delle direttive 89/392/CEE, 91/368/CEE, 93/44/CEE e 93/68/CEE concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine*".

22. **Decreto del Presidente della Repubblica del 24 luglio, n.459** "*Regolamento per l'attuazione delle direttive 89/392/CEE, 91/368, 93/44 e 93/68 concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine".*

23. **Decreto del Presidente della Repubblica del 27 aprile 1955, n. 547** "*Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro*".

24. **Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626** *“Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE, 90/679/CEE 93/88/CEE, 95/63/CE, 97/42, 98/24, 99/38 e 2001/45/CE riguardanti il miglioramento della sicurezza e salute dei lavoratori sul luogo di lavoro”.*

25. **Decreto Legislativo 20 febbraio 2002, n.25** “*Attuazione della direttiva 98/24/CE sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro”*

26. **Decreto Legislativo 25 febbraio 2000, n. 66** *"Attuazione delle direttive 97/42/CE e 1999/38/CE, che modificano la direttiva 90/394/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro".*

27. **Decreto legislativo del 4 dicembre 1992, n. 475**., “*Attuazione della direttiva 89/686/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1989, in materia di riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai dispositivi di protezione individuale*”.

28. **Decreto Legislativo del Governo del 15 agosto 1991, n.277** “*Decreto del Presidente della Repubblica del 24 luglio, n.459 " Attuazione delle direttive n. 80/1107/CEE, n. 82/605/CEE, n. 83/477/CEE, n. 86/188/CEE e n. 88/642/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell'art. 7 legge 30 luglio 1990, n. 212”.*

29. **Di Fulvio F.,** “*Metodologie di lavoro in una conversione all’alto fusto nel Parco della Majella”*, Elaborato finale, 2003.

30. **Direttiva 2002/88/CE**, *“che modifica la direttiva 97/68/CE concernente il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai provvedimenti da adottare contro l’emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante prodotti dai motori a combustione interna destinati all’installazione su macchine mobili non stradali”.*

31. **Direttiva 97/68/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio**, **del 16 dicembre 1997**, "*concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli stati membri relative ai provvedimenti da adottare contro le emissioni di inquinanti gassosi e particolato inquinante prodotti dai motori a combustione interna destinati all'installazione su macchine mobili non stradali".* Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee L59 del 27 febbraio 1998.

32. **Fabbrini F.,** *"Utilizzazioni in una conversione all'alto fusto di un ceduo invecchiato di cerro (Quercus cerris* L.*)"*, Elaborato finale, 2004.

33. **Falesiedi E**, *Normative riguardanti l'emissioni dei motori ad accensione comandata di potenza inferiore ai 19 kW utilizzati su dispositivi non stradali e nuove tecnologie utilizzate per ridurre le stesse.*

34. **Giametta G**., **Zimbalatti G**., *Il ruolo della meccanizzazione per il rilancio della selvicoltura in Italia*. Facoltà di Agraria – Università degli Studi "Mediterranea" Feo di Vito, Reggio Calabria, 2003

35. **Giocosa D**., *Motori endotermici.* HOEPLI, Milano, 1988.

36. **Halliday D**, **Resnick R**, **Krane K.S**., *Fondamenti di Fisica*. Casa editrice Ambrosiana, Milano, 1993.

37. **Hart H**, **Hart D.J**., **Craine L.E**., *Chimica Organica, quarta edizione.* Zanichelli, Bologna, 2000.

38. **Hazon M**, *Grande Dizionario Inglese-Italiano, Italiano-Inglese*. Garzanti Editore, Milano, 1962

39. **ISO 10726:1992** "*Motoseghe a catena portatili - Perno ferma catena – Dimensioni e resistenza meccanica*".

40. **ISO 11684:1995** “*Trattrici, macchine agricole e forestali, macchine a motore da giardinaggio, segni grafici per la sicurezza e pittogrammi di segnalazione dei pericoli - Principi generali*”.

41. **ISO 13772:1997** “*Macchine forestali – Motoseghe a catena portatili – Prestazioni del freno a catena automatico*”.

42. **ISO 3767-5:1992** “*Trattrici, macchine agricole e forestali, macchine a motore da giardinaggio – Segni grafici per i comandi dell’operatore ed altri indicatori – Parte 5: Segni grafici per macchine forestali portatili manualmente*”.

43. **ISO 3864-1:2002** “*Simboli grafici – Colori di sicurezza e segni di sicurezza – Parte 1: Principi di progettazione per i segni di sicurezza nei posti di lavoro e nelle aree pubbliche*”.

44. **ISO 6531:1999** “*Macchine forestali - Motoseghe a catena portatili – Vocabolario*”.

45. **ISO 6532:1993** “*Motoseghe a catena portatili - Dati tecnici*”.

46. **ISO 6533:2001** “*Macchine forestali - Motoseghe a catena portatili – Protezione anteriore della mano – Dimensioni e spazi liberi*”.

47. **ISO 6534:1992** “*Motoseghe a catena portatili - Protezione della mano – Resistenza meccanica*”.

48. **ISO 6535:1991** “*Motoseghe a catena portatili - Prestazioni del freno catena*”.

49. **ISO 7182:1984** “*Acustica – Rilevamento all’orecchio dell’operatore del rumore emesso dalle motoseghe a catena*”.

50. **ISO 7293:1997** “*Macchine forestali - Motoseghe a catena portatili – Prestazioni del motore e consumo combustibile*”.

51. **ISO 7505:1986** “*Macchine forestali - Motoseghe a catena portatili – Misura delle vibrazioni trasmesse alle mani*”.

52. **ISO 7914:1994** “*Macchine forestali - Motoseghe a catena portatili – Dimensioni delle impugnature e spazi liberi minimi*”.

53. **ISO 7915:1991** “*Macchine forestali - Motoseghe a catena portatili – Determinazione della resistenza delle impugnature”*.

54. **ISO 8334:1985** “*Macchine forestali - Motoseghe a catena portatili – Determinazione dell’equilibrio”*.

55. **ISO 9207:1995** “*Motoseghe a catena portatili con motore a combustione interna – Determinazione dei livelli di potenza sonora – Metodo tecnico progettuale (Classe 2)*”.

56. **ISO 9518:1998** “*Macchine forestali – Motoseghe a catena portatili – Prova del contraccolpo*”.

57. **Lommi C**., *Caratterizzazione di un motore allestito sul banco di prova della cella motore*. Tesi di laurea della facoltà di ingegneria, dipartimento di Meccanica ed Aeronautica.

58. **Marchi F.,** *Valutazione del rischio di esposizione ai gas di scarico emessi dalle motoseghe durante gli interventi di utilizzazione forestale: indagine sperimentale in campo*. Tesi di laurea, Università della Tuscia, 2005.

59. **Menghini G**., *Valutazione del rischio di esposizione ai gas di scarico emessi da attrezzature portatili, nella manutenzione del verde urbano*. Tesi di laurea, Università della Tuscia, 2006.

60. **Monarca D**., *Dispense del corso di Meccanizzazione Forestale*, anno accademico 1997/1998.

61. **Monti F**., *Dispositivi di protezione individuale – Tipologie, caratteristiche, modalità d’uso e normativa,* Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Ufficio Speciale di Prevenzione e Protezione, Roma 2005

62. **Papa F**., *Caratterizzazione di un motore allestito sul banco di prova della cella motori*. Tesi di laurea della facoltà di ingegneria, dipartimento di Meccanica ed Aeronautica.

63. **Pellizzi G**., *Meccanica Agraria*. Edagricole, Bologna, 1992.

64. **Piegai F**., **Marchi E**., *Igiene ed ergonomia nel lavoro con motoseghe in soprassuoli di conifere.* Monti e Boschi n.5 – 1996.

65. **Proposta di direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio**, **del 18 dicembre 2000**, "*che modifica la direttiva 97/68/CE concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli stati membri relative ai provvedimenti da adottare contro le emissioni di inquinanti gassosi e particolato inquinante prodotti dai motori a combustione interna destinati all'installazione su macchine mobili non stradali*". COM(2000)840 definitivo.

66. **Recom Industriale s.r.l**., *Istruzioni per l'uso e la manutenzione del MultiRAE PGM 50 e UltraRAE PID PGM 7299*, Genova, 2001.

67. **Rubino G.F**., **Pettinati L**., **Costa G**., *Professione medico "La Clinica" – Medicina del Lavoro*. Minerva Medica, Torino, 1992.

68. **Samaras Z**, **Zierock H**, *Off-Road vehicles: a comparison of emissions with those from road transport (in the European Community), The science of the Total Environment 169.* Elsevier, 1995.

69. **Spinelli R**., *Meccanizzazione Forestale Intermedia*. Calderoni Edagricole, Bologna, 2000

70. **Spinelli R**., *Meccanizzazione Forestale Intermedia*. Calderoni Edagricole, Bologna, 2000

71. **UNI 10912:2000** "*Dispositivi di protezione individuale - Guida per la selezione, l'uso e la manutenzione dei dispositivi di protezione individuale degli occhi e del viso per attività lavorative*".

72. **UNI EN 482:1998**, *"Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici".*

73. **UNI EN 608:1996** "*Macchine agricole e forestali - Motoseghe a catena portatili Sicurezza*"

74. **UNI EN 689:1997**, *"Atmosfera nell'ambiente di lavoro. Guida alla valutazione dll'esposizione per inalazione a composti chimici ai fini del confronto con i valori limiti e strategia di misurazione"*.

75. **US-EPA**, *" Final Regulatory Impact Analysis – Phase 2 Final Rule: Emission Standards for New Nonroad Handheld Spark-Ignition Engines at or Below 19 Kilowatts"*. EPA 420-R-00-004, marzo 2000.

76. **US-EPA**, *"Final Phase 2: Standards for small Spark-ignition handheld Engines, Regulatory Announcement, Office of transportation and Air Quality"*. EPA 420-F-00-007, marzo 2000.

77. **Von Buchberger J**., **Butora V**., *Arbeitsmedizinischer Einblick in die schweizerische Forstwirtschaft*. Zentralblatt für Arbeitsmedizin Arbeitsschutz und Prophylaxe,1979.

78. **Von Isfort L**., *Ozonbelastung von Waldarbeiterin*. Forsttechnik – 1993.

79. **Von Jacke H**., **Bittis W**., *Pro und contra Katalysatorsäge*. Zur Abgasbelastung durch Motorsägen,1990.

80. **Von Schierling R**., *Abgassituation bei der Motorsägenarbeit*. Arbeitshygiene, 1993.

81. www.apat.gov.it

82. www.arpa.emr.it

83. www.arpa.veneto.it

84. www.asf.toscana.it

85. www.ausl.pc.it

86. www.comet.it

87. www.federasma.org

88. www.husqvarna.com

89. www.stihl.com

Appendice. Misurazioni ottenute nel corso dei rilevamenti

Vetralla 11/03/05

I Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
9,42	0,5	0,4	0,0	0,0	535	1,81	1,4
9,44	1,6	1,2	0,0	0,0	473		
9,46	0,0	0,0	0,0	0,0	417		
9,48	2,4	1,8	0,0	0,0	412		
9,50	1,9	1,4	0,0	0,0	404		
9,52	0,2	0,2	0,0	0,0	397		
9,54	0,1	0,1	0,0	0,0	378		
9,56	1,9	1,4	0,0	0,0	389		
Massimo	2,4	1,8	0,0	0,0	535,0	1,8	1,4
Minimo	0,0	0,0	0,0	0,0	378,0	1,8	1,4
Deviazione ST	1,0	0,7	0,0	0,0	52,6	-	-
Moda	1,9	1,4	0,0	0,0	-	-	-
Media	1,1	0,8	0,0	0,0	425,6	1,8	1,4
Coeff. Di Var.	0,90	0,90	-	-	0,12	-	-

II Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
10,00	0,3	0,2	0,0	0,0	348		
5	0,2	0,2	0,0	0,0	332		
10	0,4	0,3	0,0	0,0	372		
15	0,0	0,0	0,0	0,0	372		
20	0,0	0,0	0,0	0,0	348		
25	0,0	0,0	0,0	0,0	344		
30	0,0	0,0	0,0	0,0	364		
35	0,0	0,0	0,0	0,0	398		
40	0,0	0,0	0,0	0,0	410		
45	0,0	0,0	0,0	0,0	408		
50	0,0	0,0	0,0	0,0	390		
55	0,0	0,0	0,0	0,0	360		
10,01	0,0	0,0	0,0	0,0	360		
5	0,0	0,0	0,0	0,0	388		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	392		
15	0,4	0,3	0,0	0,0	384		
20	0,0	0,0	0,0	0,0	364		
25	0,0	0,0	0,0	0,0	360		
30	0,1	0,1	0,0	0,0	364		
35	0,0	0,0	0,0	0,0	376		

40	0,3	0,2	0,0	0,0	352
45	0,5	0,4	0,0	0,0	360
50	0,0	0,0	0,0	0,0	372
55	0,4	0,3	0,0	0,0	384
10,02	0,0	0,0	0,0	0,0	380
5	0,0	0,0	0,0	0,0	364
10	0,5	0,4	0,0	0,0	356
15	0,0	0,0	0,0	0,0	340
20	0,0	0,0	0,0	0,0	352
25	0,0	0,0	0,0	0,0	348
30	0,0	0,0	0,0	0,0	336
35	0,4	0,3	0,0	0,0	364
40	0,1	0,1	0,0	0,0	364
45	0,0	0,0	0,0	0,0	372
50	0,2	0,2	0,0	0,0	384
55	0,0	0,0	0,0	0,0	364
10,03	0,0	0,0	0,0	0,0	328
5	0,2	0,2	0,0	0,0	356
10	0,4	0,3	0,0	0,0	406
15	0,3	0,2	0,0	0,0	422
20	0,0	0,0	0,0	0,0	430
25	0,3	0,2	0,0	0,0	422
30	0,0	0,0	0,0	0,0	396
35	0,0	0,0	0,0	0,0	400
40	0,0	0,0	0,0	0,0	408
45	0,0	0,0	0,0	0,0	400
50	0,0	0,0	0,0	0,0	388
55	0,0	0,0	0,0	0,0	364
10,04	0,0	0,0	0,0	0,0	348
5	0,0	0,0	0,0	0,0	348
10	0,0	0,0	0,0	0,0	352
15	0,0	0,0	0,0	0,0	340
20	0,3	0,2	0,0	0,0	344
25	0,0	0,0	0,0	0,0	340
30	0,0	0,0	0,0	0,0	344
35	0,0	0,0	0,0	0,0	360
40	0,0	0,0	0,0	0,0	372
45	0,2	0,2	0,0	0,0	332
50	0,0	0,0	0,0	0,0	308
55	0,0	0,0	0,0	0,0	336
10,05	0,0	0,0	0,0	0,0	344
5	0,0	0,0	0,0	0,0	336
10	0,0	0,0	0,0	0,0	348
15	0,0	0,0	0,0	0,0	332
20	0,2	0,2	0,0	0,0	316
25	0,3	0,2	0,0	0,0	294
30	5,3	4,0	0,0	0,0	332
35	6,8	5,1	0,0	0,0	392
40	3,9	2,9	0,0	0,0	402
45	1,7	1,3	0,0	0,0	368
50	0,1	0,1	0,0	0,0	380
55	1,2	0,9	0,0	0,0	388
10,06	4,4	3,3	0,0	0,0	400
5	13,6	10,2	0,0	0,0	468
10	20,5	15,4	0,0	0,0	516
15	15,6	11,7	0,0	0,0	512

20	13,5	10,1	0,0	0,0	478
25	9,0	6,8	0,0	0,0	450
30	6,7	5,0	0,0	0,0	438
35	5,5	4,1	0,0	0,0	402
40	3,0	2,3	0,0	0,0	396
45	1,4	1,1	0,0	0,0	384
50	0,4	0,3	0,0	0,0	348
55	1,0	0,8	0,0	0,0	348
10,07	1,4	1,1	0,0	0,0	372
5	2,1	1,6	0,0	0,0	380
10	2,8	2,1	0,0	0,0	432
15	3,1	2,3	0,0	0,0	500
20	3,7	2,8	0,0	0,0	540
25	4,2	3,2	0,0	0,0	540
30	3,4	2,6	0,0	0,0	532
35	3,7	2,8	0,0	0,0	512
40	3,0	2,3	0,0	0,0	500
45	2,1	1,6	0,0	0,0	494
50	2,1	1,6	0,0	0,0	474
55	3,4	2,6	0,0	0,0	438
10,08	3,2	2,4	0,0	0,0	422
5	6,0	4,5	0,0	0,0	410
10	11,9	8,9	0,0	0,0	426
15	17,1	12,8	0,0	0,0	430
20	12,5	9,4	0,0	0,0	414
25	8,9	6,7	0,0	0,0	404
30	7,6	5,7	0,0	0,0	394
35	15,3	11,5	0,0	0,0	388
40	15,6	11,7	0,0	0,0	388
45	18,6	14,0	0,0	0,0	400
50	20,8	15,6	0,0	0,0	414
55	23,9	17,9	0,0	0,0	482
10,09	19,2	14,4	0,0	0,0	520
5	18,7	14,0	0,0	0,0	500
10	23,7	17,8	0,0	0,0	450
15	29,6	22,2	0,0	0,0	422
20	36,2	27,2	0,0	0,0	422
25	42,3	31,7	0,0	0,0	430
30	35,9	26,9	0,0	0,0	442
35	28,6	21,5	0,0	0,0	470
40	24,9	18,7	0,0	0,0	454
45	25,4	19,1	0,0	0,0	430
50	28,0	21,0	0,0	0,0	430
55	23,7	17,8	0,0	0,0	418
10,10	19,7	14,8	0,0	0,0	400
5	16,8	12,6	0,0	0,0	414
10	12,8	9,6	0,0	0,0	458
15	10,9	8,2	0,0	0,0	458
20	8,7	6,5	0,0	0,0	442
25	6,9	5,2	0,0	0,0	418
30	4,3	3,2	0,0	0,0	404
35	2,6	2,0	0,0	0,0	400
40	2,1	1,6	0,0	0,0	398
45	2,4	1,8	0,0	0,0	400
50	2,0	1,5	0,0	0,0	402
55	0,9	0,7	0,0	0,0	410

10,11	1,6	1,2	0,0	0,0	398		
5	2,5	1,9	0,0	0,0	364		
10	0,7	0,5	0,0	0,0	364		
15	0,0	0,0	0,0	0,0	388		
20	0,2	0,2	0,0	0,0	380		
25	0,3	0,2	0,0	0,0	364		
30	0,2	0,2	0,0	0,0	368		
35	0,9	0,7	0,0	0,0	364		
11,24						1,79	1,3
5						1,79	1,3
10						1,79	1,3
15						1,79	1,3
20						1,79	1,3
25						1,79	1,3
30						1,79	1,3
35						1,79	1,3
40						1,79	1,3
45						1,79	1,3
50						1,79	1,3
55						1,79	1,3
11,27						1,77	1,3
5						1,77	1,3
10						1,77	1,3
15						1,77	1,3
20						1,77	1,3
25						1,77	1,3
30						1,77	1,3
35						1,77	1,3
40						1,77	1,3
45						1,77	1,3
50						1,77	1,3
55						1,77	1,3
Massimo	42,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	1,3
Minimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	1,3
Deviazione ST	8,9	6,7	0,0	0,0	50,8	0,0	0,0
Moda	0,0	0,0	0,0	0,0	364,0	1,8	1,3
Media	5,3	4,0	0,0	0,0	396,5	1,8	1,3
Coeff. Di Var.	1,67	1,67	-	-	0,13	0,01	0,00

Vetralla 22/03/2005

I Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
12,05	0,0	0,0	0,0	0,0	734		
5	0,2	0,2	0,0	0,0	694		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	650		
15	0,0	0,0	0,0	0,0	650		
20	0,1	0,1	0,0	0,0	686		
25	1,4	1,1	0,0	0,0	728		

30	10,2	7,7	0,0	0,0	752		
35	12,2	9,2	0,0	0,0	720		
40	7,5	5,6	0,0	0,0	694		
45	6,1	4,6	0,0	0,0	666		
50	4,6	3,5	0,0	0,0	634		
55	3,6	2,7	0,0	0,0	630		
12,06	1,1	0,8	0,0	0,0	630		
5	2,0	1,5	0,0	0,0	650		
10	13,7	10,3	0,0	0,0	630		
15	33,9	25,4	0,0	0,0	630		
20	36,7	27,5	0,0	0,0	658		
25	30,1	22,6	0,0	0,0	666		
30	21,4	16,1	0,0	0,0	616		
35	15,5	11,6	0,0	0,0	592		
40	14,7	11,0	0,0	0,0	604		
45	15,2	11,4	0,0	0,0	610		
50	12,0	9,0	0,0	0,0	606		
55	8,3	6,2	0,0	0,0	600		
12,07	5,4	4,1	0,0	0,0	602		
5	4,5	3,4	0,0	0,0	604		
10	3,5	2,6	0,0	0,0	610		
15	5,1	3,8	0,0	0,0	618		
20	3,7	2,8	0,0	0,0	630		
25	2,2	1,7	0,0	0,0	630		
30	2,3	1,7	0,0	0,0	650		
35	12,7	9,5	0,0	0,0	670		
40	75,1	56,3	0,0	0,0	700		
45	87,7	65,8	0,0	0,0	720		
50	66,0	49,5	0,0	0,0	712		
55	46,5	34,9	0,0	0,0	692		
12,08	32,7	24,5	0,0	0,0	678	1,78	1,3
5	25,5	19,1	0,0	0,0	658	1,78	1,3
10	19,3	14,5	0,0	0,0	596	1,78	1,3
15	15,4	11,6	0,0	0,0	560	1,78	1,3
20	12,1	9,1	0,0	0,0	582	1,78	1,3
25	8,6	6,5	0,0	0,0	614	1,78	1,3
30	6,4	4,8	0,0	0,0	592	1,78	1,3
35	4,6	3,5	0,0	0,0	560	1,78	1,3
40	1,6	1,2	0,0	0,0	568	1,78	1,3
45	3,6	2,7	0,0	0,0	544	1,78	1,3
50	2,3	1,7	0,0	0,0	532	1,78	1,3
55	2,3	1,7	0,0	0,0	544	1,78	1,3
12,09	0,9	0,7	0,0	0,0	564		
5	1,2	0,9	0,0	0,0	564		
10	0,3	0,2	0,0	0,0	548		
15	0,7	0,5	0,0	0,0	548		
20	0,3	0,2	0,0	0,0	584		
25	0,8	0,6	0,0	0,0	610		
30	0,1	0,1	0,0	0,0	602		
35	1,6	1,2	0,0	0,0	584		
40	2,3	1,7	0,0	0,0	580		
45	10,2	7,7	0,0	0,0	592		
50	22,0	16,5	0,0	0,0	580		
55	30,3	22,7	0,0	0,0	600		
12,10	27,2	20,4	0,0	0,0	606		
5	28,3	21,2	0,0	0,0	606		

10	66,8	50,1	0,0	0,0	638		
15	104,0	78,0	0,0	0,0	678		
20	95,6	71,7	0,0	0,0	662		
25	78,6	59,0	0,0	0,0	612		
30	61,3	46,0	0,0	0,0	600		
35	44,9	33,7	0,0	0,0	596		
40	33,6	25,2	0,0	0,0	560		
45	24,7	18,5	0,0	0,0	524		
50	18,9	14,2	0,0	0,0	520		
55	13,4	10,1	0,0	0,0	520		
12,11	10,3	7,7	0,0	0,0	512		
5	7,8	5,9	0,0	0,0	536		
10	6,0	4,5	0,0	0,0	564		
15	5,6	4,2	0,0	0,0	580		
20	5,0	3,8	0,0	0,0	560		
Massimo	104,0	78,0	0,0	0,0	752,0	1,8	1,3
Minimo	0,0	0,0	0,0	0,0	512,0	1,8	1,3
Deviazione ST	24,2	18,2	0,0	0,0	56,1	0,0	0,0
Moda	2,3	1,7	0,0	0,0	630,0	1,8	1,3
Media	18,2	13,7	0,0	0,0	615,9	1,8	1,3
Coeff. Di Var.	1,33	1,33	-	-	0,09	0,00	0,00

Canepina 23/03/2005

I Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
10,59	1,6	1,2	0,0	0,0	500		
5	2,2	1,7	0,0	0,0	446		
10	3,2	2,4	0,0	0,0	402		
15	1,5	1,1	0,0	0,0	380		
20	2,7	2,0	0,0	0,0	360		
25	1,2	0,9	0,0	0,0	344		
30	1,7	1,3	0,0	0,0	380		
35	2,2	1,7	0,0	0,0	396		
40	1,7	1,3	0,0	0,0	406		
45	1,1	0,8	0,0	0,0	438		
50	2,3	1,7	0,0	0,0	446		
55	2,2	1,7	0,0	0,0	408		
11,00	3,6	2,7	0,0	0,0	380		
5	2,7	2,0	0,0	0,0	368		
10	2,3	1,7	0,0	0,0	360		
15	2,7	2,0	0,0	0,0	340		
20	2,4	1,8	0,0	0,0	328		
25	1,4	1,1	0,0	0,0	324		
30	1,4	1,1	0,0	0,0	324		
35	2,2	1,7	0,0	0,0	328		
40	3,2	2,4	0,0	0,0	320		
45	2,5	1,9	0,0	0,0	304		

50	3,7	2,8	0,0	0,0	308
55	1,9	1,4	0,0	0,0	312
11,01	2,3	1,7	0,0	0,0	308
5	1,8	1,4	0,0	0,0	328
10	1,4	1,1	0,0	0,0	340
15	1,1	0,8	0,0	0,0	336
20	2,1	1,6	0,0	0,0	340
25	2,1	1,6	0,0	0,0	340
30	1,2	0,9	0,0	0,0	340
35	0,9	0,7	0,0	0,0	352
40	2,6	2,0	0,0	0,0	360
45	3,8	2,9	0,0	0,0	340
50	2,7	2,0	0,0	0,0	320
55	1,1	0,8	0,0	0,0	324
11,02	1,9	1,4	0,0	0,0	340
5	1,7	1,3	0,0	0,0	340
10	2,0	1,5	0,0	0,0	328
15	1,7	1,3	0,0	0,0	324
20	3,6	2,7	0,0	0,0	316
25	1,3	1,0	0,0	0,0	320
30	2,6	2,0	0,0	0,0	328
35	2,3	1,7	0,0	0,0	332
40	1,4	1,1	0,0	0,0	324
45	2	1,5	0,0	0,0	312
50	2,5	1,9	0,0	0,0	320
55	1,1	0,8	0,0	0,0	324
11,03	2,6	2,0	0,0	0,0	344
5	1,1	0,8	0,0	0,0	364
10	2,5	1,9	0,0	0,0	344
15	2,4	1,8	0,0	0,0	316
20	2,3	1,7	0,0	0,0	312
25	0,7	0,5	0,0	0,0	320
30	1,5	1,1	0,0	0,0	320
35	3,2	2,4	0,0	0,0	310
40	2,5	1,9	0,0	0,0	308
45	2,2	1,7	0,0	0,0	304
50	3,9	2,9	0,0	0,0	306
55	2,6	2,0	0,0	0,0	286
11,04	1,9	1,4	0,0	0,0	292
5	1,7	1,3	0,0	0,0	300
10	3,0	2,3	0,0	0,0	300
15	2,0	1,5	0,0	0,0	304
20	1,4	1,1	0,0	0,0	320
25	1,9	1,4	0,0	0,0	320
30	1,8	1,4	0,0	0,0	320
35	1,8	1,4	0,0	0,0	304
40	2,0	1,5	0,0	0,0	316
45	1,4	1,1	0,0	0,0	348
50	1,6	1,2	0,0	0,0	360
55	1,4	1,1	0,0	0,0	340
11,05	0,6	0,5	0,0	0,0	328
5	2,6	2,0	0,0	0,0	320
10	2,7	2,0	0,0	0,0	304
15	2,0	1,5	0,0	0,0	324
20	1,8	1,4	0,0	0,0	328

25	2,0	1,5	0,0	0,0	284		
30	2,8	2,1	0,0	0,0	292		
35	2,1	1,6	0,0	0,0	332		
40	1,3	1,0	0,0	0,0	376		
45	2,3	1,7	0,0	0,0	376		
50	1,9	1,4	0,0	0,0	360		
55	1,3	1,0	0,0	0,0	364		
11,06	1,4	1,1	0,0	0,0	380		
5	1,4	1,1	0,0	0,0	368		
10	1,9	1,4	0,0	0,0	352		
15	1,3	1,0	0,0	0,0	356		
20	1,6	1,2	0,0	0,0	332		
25	2,5	1,9	0,0	0,0	304		
30	2,1	1,6	0,0	0,0	308		
35	1,4	1,1	0,0	0,0	364		
40	1,7	1,3	0,0	0,0	402		
45	1,4	1,1	0,0	0,0	410		
50	2,2	1,7	0,0	0,0	396		
55	0,9	0,7	0,0	0,0	356		
11,07	2,5	1,9	0,0	0,0	352		
5	2,1	1,6	0,0	0,0	336		
10	1,7	1,3	0,0	0,0	316		
15	1,8	1,4	0,0	0,0	292		
20	4,2	3,2	0,0	0,0	258		
25	2,8	2,1	0,0	0,0	250		
30	2,0	1,5	0,0	0,0	254		
35	1,8	1,4	0,0	0,0	270		
40	1,6	1,2	0,0	0,0	278		
45	0,5	0,4	0,0	0,0	290		
50	1,2	0,9	0,0	0,0	298		
55	0,5	0,4	0,0	0,0	302		
11,08	1,4	1,1	0,0	0,0	290	0,0	0,0
5	2,0	1,5	0,0	0,0	258	0,0	0,0
10	1,9	1,4	0,0	0,0	262	0,0	0,0
15	2,0	1,5	0,0	0,0	278	0,0	0,0
20	1,8	1,4	0,0	0,0	294	0,0	0,0
25	2,7	2,0	0,0	0,0	324	0,0	0,0
30	1,5	1,1	0,0	0,0	368	0,0	0,0
35	0,7	0,5	0,0	0,0	364	0,0	0,0
40	2,1	1,6	0,0	0,0	320	0,0	0,0
45	1,9	1,4	0,0	0,0	312	0,0	0,0
50	2,4	1,8	0,0	0,0	312	0,0	0,0
55	2,9	2,2	0,0	0,0	312	0,0	0,0
11,09	3,2	2,4	0,0	0,0	300		
5	1,0	0,8	0,0	0,0	282		
Massimo	4,2	3,2	0,0	0,0	500,0	0,0	0,0
Minimo	0,5	0,4	0,0	0,0	250,0	0,0	0,0
Deviazione ST	0,7	0,5	0,0	0,0	41,0	0,0	0,0
Moda	1,4	1,1	0,0	0,0	320,0	0,0	0,0
Media	2,0	1,5	0,0	0,0	332,7	0,0	0,0
Coeff. Di Var.	0,36	0,4	-	-	0,12	-	3,5

II Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
11,23	3,1	2,3	0,0	0,0	570		
5	2,3	1,7	0,0	0,0	470		
10	2,3	1,7	0,0	0,0	458		
15	2,3	1,7	0,0	0,0	458		
20	3,2	2,4	0,0	0,0	490		
25	3,3	2,5	0,0	0,0	474		
30	2,2	1,7	0,0	0,0	438		
35	2,0	1,5	0,0	0,0	430		
40	3,0	2,3	0,0	0,0	418		
45	3,1	2,3	0,0	0,0	414		
50	7,2	5,4	0,6	0,5	406		
55	7,4	5,6	0,2	0,2	360		
11,24	7,2	5,4	0,1	0,1	336		
5	6,2	4,7	0,0	0,0	348		
10	3,9	2,9	0,0	0,0	356		
15	4,2	3,2	0,0	0,0	328		
20	3,4	2,6	0,0	0,0	308		
25	4,0	3,0	0,0	0,0	340		
30	3,8	2,9	0,0	0,0	372		
35	4,9	3,7	0,0	0,0	348		
40	3,8	2,9	0,0	0,0	336		
45	4,6	3,5	0,0	0,0	340		
50	17,6	13,2	1,0	0,8	364		
55	78,0	58,5	4,2	3,2	394		
11,25	109,7	82,3	4,6	3,5	472	1,1	0,8
5	97,3	73,0	1,5	1,1	556	1,1	0,8
10	73,0	54,8	0,4	0,3	600	1,1	0,8
15	52,6	39,5	0,2	0,2	552	1,1	0,8
20	39,1	29,3	0,2	0,2	496	1,1	0,8
25	30,9	23,2	0,2	0,2	466	1,1	0,8
30	22,5	16,9	0,0	0,0	434	1,1	0,8
35	17,2	12,9	0,0	0,0	386	1,1	0,8
40	14,6	11,0	0,0	0,0	332	1,1	0,8
45	12,3	9,2	0,0	0,0	320	1,1	0,8
50	10,6	8,0	0,0	0,0	320	1,1	0,8
55	9,4	7,1	0,0	0,0	304	1,1	0,8
Massimo	109,7	82,3	4,6	3,5	600,0	1,1	0,8
Minimo	2,0	1,5	0,0	0,0	304,0	1,1	0,8
Deviazione ST	28,1	21,1	1,0	0,8	80,5	0,0	0,0
Moda	2,3	1,7	0,0	0,0	458,0	1,1	0,8
Media	18,7	14,0	0,4	0,3	410,9	1,1	0,8
Coeff. Di Var.	1,51	1,51	2,84	2,84	0,20	0,00	0,00

III Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
11,33	2,3	1,7	0,0	0,0	496		
5	3,8	2,9	0,0	0,0	442		
10	2,7	2,0	0,0	0,0	356		
15	2,7	2,0	0,0	0,0	332		
20	4,3	3,2	0,0	0,0	356		
25	1,7	1,3	0,0	0,0	328		
30	2,5	1,9	0,0	0,0	298		
35	1,3	1,0	0,0	0,0	274		
40	2,9	2,2	0,0	0,0	300		
45	2,3	1,7	0,0	0,0	320		
50	2,1	1,6	0,0	0,0	308		
55	1,2	0,9	0,0	0,0	290		
11,34	1,1	0,8	0,0	0,0	290		
5	2,0	1,5	0,0	0,0	290		
10	3,0	2,3	0,0	0,0	290		
15	2,3	1,7	0,0	0,0	270		
20	2,5	1,9	0,0	0,0	274		
25	3,1	2,3	0,0	0,0	300		
30	2,9	2,2	0,0	0,0	328		
35	3,4	2,6	0,0	0,0	290		
40	2,5	1,9	0,0	0,0	250		
45	1,7	1,3	0,0	0,0	262		
50	1,3	1,0	0,0	0,0	306		
55	3,0	2,3	0,0	0,0	308		
11,35	2,1	1,6	0,0	0,0	294		
5	1,5	1,1	0,0	0,0	278		
10	3,1	2,3	0,0	0,0	266		
15	2,0	1,5	0,0	0,0	274		
20	2,5	1,9	0,0	0,0	270		
25	1,2	0,9	0,0	0,0	246		
30	0,8	0,6	0,0	0,0	266		
35	1,3	1,0	0,0	0,0	258		
40	1,9	1,4	0,0	0,0	242		
45	3,0	2,3	0,0	0,0	238		
50	2,4	1,8	0,0	0,0	254		
55	2,0	1,5	0,0	0,0	254		
11,36	2,2	1,7	0,0	0,0	250		
5	2,8	2,1	0,0	0,0	270		
10	1,6	1,2	0,0	0,0	282		
15	2,3	1,7	0,0	0,0	282		
20	2,6	2,0	0,0	0,0	282		
25	2,6	2,0	0,0	0,0	292		
30	2,4	1,8	0,0	0,0	286		
35	3,3	2,5	0,0	0,0	266		
40	3,6	2,7	0,0	0,0	294		
45	2,8	2,1	0,0	0,0	300		
50	2,8	2,1	0,0	0,0	286		
55	2,6	2,0	0,0	0,0	250		
11,37	1,7	1,3	0,0	0,0	250	0,1	0,08
5	1,8	1,4	0,0	0,0	274	0,1	0,08
10	1,9	1,4	0,0	0,0	270	0,1	0,08

15	1,7	1,3	0,0	0,0	262	0,1	0,08
20	1,2	0,9	0,0	0,0	278	0,1	0,08
25	2,6	2,0	0,0	0,0	294	0,1	0,08
30	3,6	2,7	0,0	0,0	288	0,1	0,08
35	2,8	2,1	0,0	0,0	274	0,1	0,08
40	2,1	1,6	0,0	0,0	274	0,1	0,08
45	1,9	1,4	0,0	0,0	274	0,1	0,08
50	4,1	3,1	0,0	0,0	284	0,1	0,08
55	1,9	1,4	0,0	0,0	300	0,1	0,08
Massimo	4,3	3,2	0,0	0,0	496,0	0,1	0,1
Minimo	0,8	0,6	0,0	0,0	238,0	0,1	0,1
Deviazione ST	0,8	0,6	0,0	0,0	42,3	0,0	0,0
Moda	1,9	1,4	0,0	0,0	274,0	0,1	0,1
Media	2,4	1,8	0,0	0,0	289,3	0,1	0,1
Coeff. Di Var.	0,32	0,32	-	-	0,15	0,00	0,00

IV Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
11,38	2,1	1,6	0,0	0,0	304		
5	3,0	2,3	0,0	0,0	292		
10	2,8	2,1	0,0	0,0	258		
15	3,1	2,3	0,0	0,0	242		
20	2,2	1,7	0,0	0,0	242		
25	1,5	1,1	0,0	0,0	258		
30	2,2	1,7	0,0	0,0	288		
35	1,2	0,9	0,0	0,0	292		
40	0,9	0,7	0,0	0,0	328		
45	2,7	2,0	4,3	3,2	340		
50	2,1	1,6	12,4	9,3	332		
55	2,0	1,5	3,8	2,9	300		
11,39	1,8	1,4	1,1	0,8	316	2,3	1,7
5	2,8	2,1	0,5	0,4	336	2,3	1,7
10	1,8	1,4	0,2	0,2	356	2,3	1,7
15	2,0	1,5	0,0	0,0	336	2,3	1,7
20	2,6	2,0	26,2	19,7	290	2,3	1,7
25	1,8	1,4	27,6	20,7	266	2,3	1,7
30	3,4	2,6	22,8	17,1	286	2,3	1,7
35	1,1	0,8	6,5	4,9	290	2,3	1,7
40	2,7	2,0	2,9	2,2	294	2,3	1,7
Massimo	3,4	2,6	27,6	20,7	356,0	2,3	1,7
Minimo	0,9	0,7	0,0	0,0	242,0	2,3	1,7
Deviazione ST	0,7	0,5	9,1	6,8	32,7	0,0	0,0
Moda	1,8	1,4	0,0	0,0	292,0	2,3	1,7
Media	2,2	1,6	5,2	3,9	297,4	2,3	1,7
Coeff. Di Var.	0,31	0,31	1,76	1,76	0,11	0,00	0,00

V Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
11,44	2,3	1,7	0,0	0,0	464	2,3	1,7
5	13,0	9,8	5,2	3,9	328	2,3	1,7
10	58,9	44,2	22,5	16,9	340	2,3	1,7
15	92,9	69,7	19,2	14,4	344	2,3	1,7
20	113,9	85,4	22,3	16,7	344	2,3	1,7
25	116,4	87,3	27,8	20,9	320	2,3	1,7
30	111,5	83,6	34,5	25,9	308	2,3	1,7
35	103,4	77,6	21,1	15,8	344	2,3	1,7
40	109,6	82,2	25,0	18,8	360	2,3	1,7
45	100,3	75,2	18,3	13,7	360		
50	80,7	60,5	12,9	9,7	328		
55	65,2	48,9	7,2	5,4	302		
11,45	51,2	38,4	3,6	2,7	290		
5	37,9	28,4	2,1	1,6	290		
10	29,2	21,9	1,7	1,3	304		
15	22,8	17,1	1,2	0,9	312		
20	18,5	13,9	1,1	0,8	306		
25	14,7	11,0	0,5	0,4	286		
30	13,1	9,8	0,5	0,4	270		
35	12,4	9,3	0,5	0,4	278		
40	11,5	8,6	0,4	0,3	290		
45	8,8	6,6	0,2	0,2	294		
50	7,8	5,9	0,2	0,2	294		
55	7,2	5,4	0,1	0,1	286		
11,46	6,2	4,7	0,1	0,1	274		
5	5,9	4,4	0,0	0,0	290		
10	5,1	3,8	0,0	0,0	278		
15	4,7	3,5	0,0	0,0	250		
20	4,8	3,6	0,0	0,0	242		
25	3,8	2,9	0,0	0,0	266		
30	3,8	2,9	0,0	0,0	258		
Massimo	116,4	87,3	34,5	25,9	464,0	2,3	1,7
Minimo	2,3	1,7	0,0	0,0	242,0	2,3	1,7
Deviazione ST	41,7	31,3	10,5	7,9	42,7	0,0	0,0
Moda	3,8	2,9	0,0	0,0	290,0	-	-
Media	39,9	29,9	7,4	5,5	306,5	2,3	1,7
Coeff. Di Var.	1,04	1,04	1,43	1,43	0,14	0,00	0,00

VI Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
11,49	3,6	2,7	0,0	0,0	480		
5	3,5	2,6	0,0	0,0	432		
10	2,7	2,0	0,0	0,0	400		
15	2,2	1,7	0,0	0,0	406		
20	2,9	2,2	0,0	0,0	380		

25	3,3	2,5	0,0	0,0	360		
30	3,1	2,3	0,0	0,0	388		
35	3,2	2,4	0,0	0,0	404		
40	2,3	1,7	0,0	0,0	376		
45	2,2	1,7	0,0	0,0	352		
50	3,1	2,3	0,0	0,0	344		
55	2,2	1,7	0,0	0,0	300		
11,50	2,8	2,1	0,0	0,0	274		
5	3,0	2,3	0,0	0,0	266		
10	2,3	1,7	0,0	0,0	278		
15	2,5	1,9	0,0	0,0	290		
20	2,8	2,1	0,0	0,0	286		
25	2,6	2,0	0,0	0,0	292		
30	3,4	2,6	0,0	0,0	292		
35	4,2	3,2	0,0	0,0	340		
40	4,6	3,5	0,0	0,0	418		
45	3,6	2,7	0,0	0,0	516		
50	2,5	1,9	0,0	0,0	548		
55	4,5	3,4	0,0	0,0	544		
11,51	3,7	2,8	0,0	0,0	464		
5	2,9	2,2	0,0	0,0	396		
10	3,7	2,8	0,0	0,0	344		
15	3,3	2,5	0,0	0,0	344		
20	3,4	2,6	0,0	0,0	340		
25	2,3	1,7	0,0	0,0	336		
30	4,7	3,5	0,0	0,0	344		
35	5,7	4,3	0,0	0,0	308		
40	5,7	4,3	0,0	0,0	270		
45	3,5	2,6	0,0	0,0	274		
50	4,8	3,6	0,0	0,0	286		
55	3,7	2,8	0,0	0,0	282		
11,52	5,3	4,0	0,0	0,0	270		
5	26,4	19,8	0,4	0,3	274		
10	41,7	31,3	0,4	0,3	292		
15	34,7	26,0	0,2	0,2	296		
20	25,9	19,4	0,0	0,0	286		
25	20,0	15,0	0,0	0,0	298		
30	16,8	12,6	0,0	0,0	300		
35	13,4	10,1	0,0	0,0	300		
40	12,1	9,1	0,0	0,0	300		
45	46,2	34,7	4,9	3,7	332		
50	127,1	95,3	8,2	6,2	372		
55	105,9	79,4	2,1	1,6	380		
11,53	82,5	61,9	1,5	1,1	360	2,9	2,2
5	66,4	49,8	1,2	0,9	336	2,9	2,2
10	89,8	67,4	5,4	4,1	340	2,9	2,2
15	300,0	225,0	26,2	19,7	406	2,9	2,2
20	359,4	269,6	12,2	9,2	488	2,9	2,2
25	284,6	213,5	5,5	4,1	492	2,9	2,2
30	299,4	224,6	12,4	9,3	438	2,9	2,2
35	266,6	200,0	6,2	4,7	418	2,9	2,2
40	217,2	162,9	5,6	4,2	430	2,9	2,2
45	215,1	161,3	7,1	5,3	450	2,9	2,2
50	173,1	129,8	3,0	2,3	462	2,9	2,2
55	132,7	99,5	1,4	1,1	446	2,9	2,2

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
11,54	100,5	75,4	0,8	0,6	410		
5	76,5	57,4	0,6	0,5	410		
10	61	45,8	0,4	0,3	454		
15	47,6	35,7	0,2	0,2	420		
20	37,9	28,4	0,2	0,2	384		
25	31,6	23,7	0,3	0,2	328		
30	25,8	19,4	0,1	0,1	284		
Massimo	359,4	269,6	26,2	19,7	548,0	2,9	2,2
Minimo	2,2	1,7	0,0	0,0	266,0	2,9	2,2
Deviazione ST	87,3	65,4	4,1	3,1	73,9	0,0	0,0
Moda	2,2	1,7	0,0	0,0	344,0	2,9	2,2
Media	51,7	38,8	1,6	1,2	364,3	2,9	2,2
Coeff. Di Var.	1,69	1,69	2,58	2,58	0,20	0,00	0,00

Piedipaterno 08/04/2005

I Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
10,16	2,9	2,2	0,0	0,0	538		
5	3,1	2,3	0,0	0,0	508		
10	2	1,5	0,0	0,0	458		
15	2,1	1,6	0,0	0,0	450		
20	3,5	2,6	0,0	0,0	454		
25	3,8	2,9	0,0	0,0	438		
30	3,8	2,9	0,0	0,0	418		
35	3,4	2,6	0,0	0,0	426		
40	4,2	3,2	0,0	0,0	442		
45	4,6	3,5	0,1	0,1	422		
50	9,1	6,8	0,1	0,1	414		
55	9,0	6,8	0,0	0,0	410		
10,17	8,7	6,5	0,0	0,0	410		
5	9,5	7,1	0,1	0,1	410		
10	7,9	5,9	0,0	0,0	414		
15	5,1	3,8	0,0	0,0	406		
20	4,9	3,7	0,0	0,0	392		
25	4,0	3,0	0,0	0,0	364		
30	4,6	3,5	0,0	0,0	388		
35	4,5	3,4	0,0	0,0	388		
40	2,9	2,2	0,0	0,0	380		
45	2,4	1,8	0,0	0,0	392		
50	3,5	2,6	0,0	0,0	400		
55	6,3	4,7	0,0	0,0	410		
10,18	5,2	3,9	0,0	0,0	410		
5	5,0	3,8	0,0	0,0	410		
10	5,1	3,8	0,0	0,0	418		
15	3,4	2,6	0,0	0,0	430		
20	3,2	2,4	0,0	0,0	404		
25	3,3	2,5	0,0	0,0	380		

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
30	3,0	2,3	0,0	0,0	400		
35	3,9	2,9	0,0	0,0	424		
40	1,0	0,8	0,0	0,0	426		
45	1,4	1,1	0,0	0,0	410		
50	6,4	4,8	0,0	0,0	384		
55	8,6	6,5	2,0	1,5	368		
10,19	19,3	14,5	2,1	1,6	364		
5	24,7	18,5	1,3	1,0	364		
10	24,7	18,5	1,0	0,8	372		
15	26,4	19,8	2,2	1,7	360		
20	31,9	23,9	1,5	1,1	380		
25	29,2	21,9	0,3	0,2	396		
30	22,3	16,7	0,1	0,1	388		
35	17,8	13,4	0,1	0,1	394		
40	12,7	9,5	0,0	0,0	518		
45	10,1	7,6	0,0	0,0	802		
50	9,7	7,3	0,0	0,0	870		
55	8,3	6,2	0,0	0,0	600		
10,20	63,3	47,5	30,8	23,1	508	0,7	0,5
5	322,5	241,9	120,9	90,7	524	0,7	0,5
10	327,5	245,6	31,4	23,6	556	0,7	0,5
15	235,3	176,5	11,7	8,8	520	0,7	0,5
20	167,2	125,4	6,3	4,7	466	0,7	0,5
25	119,5	89,6	4,0	3,0	414	0,7	0,5
30	88,0	66,0	2,8	2,1	404	0,7	0,5
Massimo	327,5	245,6	120,9	90,7	870,0	0,7	0,5
Minimo	1,0	0,8	0,0	0,0	360,0	0,7	0,5
Deviazione ST	71,1	53,3	17,2	12,9	93,9	0,0	0,0
Moda	24,7	18,5	0,0	0,0	364,0	0,7	0,5
Media	31,4	23,5	4,0	3,0	439,9	0,7	0,5
Coeff. Di Var.	2,27	2,27	4,31	4,31	0,21	0,00	0,00

II Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
10,24	2,6	2,0	0,0	0,0	500		
5	3,6	2,7	0,0	0,0	454		
10	2,2	1,7	0,0	0,0	414		
15	5	3,8	0,2	0,2	384		
20	88,5	66,4	8,5	6,4	446		
25	137,4	103,1	4,4	3,3	560		
30	103,9	77,9	1,1	0,8	590		
35	74,5	55,9	0,6	0,5	532		
40	53	39,8	0,1	0,1	500		
45	39,7	29,8	0,0	0,0	488		
50	29	21,8	0,0	0,0	470		
55	21,8	16,4	0,0	0,0	466		
10,25	18,7	14,0	0,0	0,0	454		
5	14,5	10,9	0,0	0,0	450		
10	13,2	9,9	0,1	0,1	438		

15	10,4	7,8	0,0	0,0	430		
20	8,3	6,2	0,0	0,0	418		
25	6,7	5,0	0,0	0,0	400		
30	6,3	4,7	0,0	0,0	380		
35	6,8	5,1	0,0	0,0	396		
40	4,9	3,7	0,0	0,0	402		
45	5,3	4,0	0,0	0,0	400		
50	4,2	3,2	0,0	0,0	400		
55	5,3	4,0	0,0	0,0	400		
10,26	4,2	3,2	0,0	0,0	400		
5	4,5	3,4	0,0	0,0	400		
10	5,2	3,9	0,0	0,0	384		
15	4,6	3,5	0,0	0,0	344		
20	4,6	3,5	0,0	0,0	340		
25	5,0	3,8	0,0	0,0	372		
10,27						3,2	2,4
5						3,2	2,4
10						3,2	2,4
15						3,2	2,4
20						3,2	2,4
25						3,2	2,4
30						3,2	2,4
35						3,2	2,4
40						3,2	2,4
45						3,2	2,4
50						3,2	2,4
55						3,2	2,4
Massimo	137,4	103,1	8,5	6,4	590,0	3,2	2,4
Minimo	2,2	1,7	0,0	0,0	340,0	3,2	2,4
Deviazione ST	34,3	25,7	1,7	1,3	59,8	0,0	0,0
Moda	5,3	4,0	0,0	0,0	400,0	3,2	2,4
Media	23,1	17,3	0,5	0,4	433,7	3,2	2,4
Coeff. Di Var.	1,48	1,48	3,44	3,44	0,14	0,00	0,00

Azienda Agraria 01/06/2005

I Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
9,25	144,0	108,0	1,6	1,2	836		
10	135,6	101,7	2,0	1,5	756		
20	116,6	87,5	1,2	0,9	748		
30	90,8	68,1	0,8	0,6	699		
40	76,8	57,6	1,2	0,9	664		
50	69,6	52,2	1,0	0,8	670		
9,26	67,2	50,4	0,9	0,7	632		
10	64,0	48,0	0,9	0,7	660		
20	60,1	45,1	1,3	1,0	696		
30	51,0	38,3	0,7	0,5	721		

40	46,3	34,7	0,7	0,5	670
50	39,5	29,6	0,6	0,5	608
9,27	45,3	34,0	1,1	0,8	654
10	71,6	53,7	1,2	0,9	688
20	96,3	72,2	1,4	1,1	632
30	126,4	94,8	1,7	1,3	654
40	126,6	95,0	1,5	1,1	668
50	124,3	93,2	1,7	1,3	678
9,28	129,8	97,4	2,5	1,9	688
10	134,5	100,9	2,1	1,6	618
20	120,8	90,6	1,3	1,0	636
30	97,7	73,3	1,5	1,1	634
40	96,4	72,3	1,3	1,0	696
50	88,9	66,7	0,8	0,6	707
9,29	78,2	58,7	0,8	0,6	636
10	75,6	56,7	1,2	0,9	603
20	100,9	75,7	1,4	1,1	582
30	103,3	77,5	1,3	1,0	605
40	98,9	74,2	1,1	0,8	630
50	77,7	58,3	0,7	0,5	595
9,30	76,8	57,6	1,9	1,4	694
10	75,7	56,8	1,4	1,1	1282
20	65,0	48,8	0,7	0,5	1952
30	53,1	39,8	0,7	0,5	2461
40	55,2	41,4	1,6	1,2	2576
50	111,0	83,3	8,9	6,7	2259
9,31	130,7	98,0	2,3	1,7	1880
10	88,9	66,7	0,4	0,3	1344
20	59,3	44,5	0,3	0,2	921
30	57,7	43,3	1,0	0,8	801
40	52,3	39,2	0,1	0,1	731
50	74,3	55,7	0,5	0,4	762
9,32	80,5	60,4	0,2	0,2	816
10	74,7	56,0	0,0	0,0	800
20	88,8	66,6	0,7	0,5	950
30	101,3	76,0	0,7	0,5	1556
40	93,2	69,9	0,5	0,4	1640
50	105,4	79,1	1,0	0,8	1470
9,33	95,7	71,8	0,3	0,2	1043
10	87,5	65,6	0,3	0,2	1023
20	89,5	67,1	0,2	0,2	1169
30	66,0	49,5	0,0	0,0	836
40	47,3	35,5	0,0	0,0	697
50	35,6	26,7	0,0	0,0	612
9,34	32,0	24,0	0,0	0,0	630
10	35,1	26,3	0,1	0,1	662
20	41,0	30,8	0,2	0,2	632
30	58,1	43,6	0,2	0,2	620
40	75,5	56,6	0,8	0,6	610
50	91,9	68,9	0,6	0,5	606
9,35	144,6	108,5	2,0	1,5	720
10	170,5	127,9	2,6	2,0	762
20	159,4	119,6	1,3	1,0	721
30	127,4	95,6	0,5	0,4	676
40	91,4	68,6	0,0	0,0	599

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
50	64,8	48,6	0,0	0,0	570		
9,36	49,2	36,9	0,0	0,0	578		
10	40,8	30,6	0,0	0,0	574		
20	36,9	27,7	0,0	0,0	528		
30	39,3	29,5	0,0	0,0	526		
40	41,0	30,8	0,0	0,0	628		
50	47,0	35,3	0,1	0,1	784		
9,37	51,5	38,6	0,0	0,0	949		
10	81,2	60,9	1,2	0,9	1048		
20	80,4	60,3	0,2	0,2	841		
30	58,7	44,0	0,1	0,1	679		
40	44,0	33,0	0,0	0,0	602		
50	36,7	27,5	0,0	0,0	558		
9,38	37,7	28,3	0,0	0,0	532		
10	40,9	30,7	0,2	0,2	540		
20	52,5	39,4	0,7	0,5	570		
30	47,9	35,9	0,0	0,0	620		
40	38,3	28,7	0,0	0,0	551		
50	51,5	38,6	0,4	0,3	573		
9,39	42,9	32,2	0,0	0,0	618	0,1	0,075
10	33,8	25,4	0,0	0,0	556	0,1	0,075
20	29,4	22,1	0,0	0,0	518	0,1	0,075
30	23,8	17,9	0,0	0,0	522	0,1	0,075
40	19,8	14,9	0,0	0,0	544	0,1	0,075
50	18,7	14,0	0,0	0,0	522	0,1	0,075
9,40	32,3	24,2	0,2	0,2	536		
10	89,3	67,0	1,2	0,9	671		
20	127,2	95,4	1,3	1,0	760		
30	112,9	84,7	0,3	0,2	714		
40	93,5	70,1	0,5	0,4	609		
Massimo	170,5	127,9	8,9	6,7	2576,0	0,1	0,1
Minimo	18,7	14,0	0,0	0,0	518,0	0,1	0,1
Deviazione ST	34,4	25,8	1,1	0,8	404,9	0,0	0,0
Moda	76,8	57,6	0,0	0,0	632,0	0,1	0,1
Media	75,9	56,9	0,8	0,6	803,1	0,1	0,1
Coeff. Di Var.	0,45	0,45	1,35	1,35	0,50	0,00	0,00

II Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
9,49	121,7	91,3	0,5	0,4	595		
10	131,5	98,6	0,7	0,5	510		
20	151,5	113,6	0,8	0,6	501		
30	147,9	110,9	0,7	0,5	539		
40	134,0	100,5	1,0	0,8	655		
50	122,3	91,7	1,4	1,1	754		
9,5	117,7	88,3	1,8	1,4	784		
10	128,4	96,3	1,3	1,0	803		
20	121,3	91,0	0,9	0,7	746		
30	109,9	82,4	0,7	0,5	794		

	40	106,5	79,9	0,8	0,6	829		
	50	103,0	77,3	0,5	0,4	722		
	9,51	118,0	88,5	0,9	0,7	691		
	10	115,9	86,9	0,2	0,2	660		
	20	94,5	70,9	0,2	0,2	580		
	30	69,6	52,2	0,7	0,5	548		
	40	48,7	36,5	0,3	0,2	548		
	50	38,8	29,1	0,2	0,2	558		
	9,52	32,8	24,6	0,0	0,0	481		
	10	25,0	18,8	0,1	0,1	479		
	20	18,6	14,0	0,0	0,0	490		
	30	14,9	11,2	0,0	0,0	482		
	40	12,6	9,5	0,0	0,0	515		
	50	9,6	7,2	0,0	0,0	536		
	9,53	15,7	11,8	0,0	0,0	528		
	10	26,6	20,0	0,0	0,0	538		
	20	23,3	17,5	0,0	0,0	570		
	30	17,8	13,4	0,0	0,0	640		
	40	13,2	9,9	0,0	0,0	593		
	50	11,8	8,9	0,0	0,0	556		
	9,54	10,1	7,6	0,0	0,0	536	0,0	0,01
	10	7,4	5,6	0,0	0,0	520	0,0	0,0
	20	7,5	5,6	0,0	0,0	562	0,0	0,0
	30	5,7	4,3	0,0	0,0	534	0,0	0,0
	40	5,3	4,0	0,0	0,0	524	0,0	0,0
	50	5,4	4,1	0,0	0,0	590	0,0	0,0
	9,55	6,3	4,7	0,0	0,0	580		
	10	4,8	3,6	0,0	0,0	522		
	20	4,1	3,1	0,0	0,0	504		
	30	3,7	2,8	0,0	0,0	512		
	40	3,4	2,6	0,0	0,0	495		
	50	3,7	2,8	0,0	0,0	502		
	9,56	4,0	3,0	0,0	0,0	500	0,0	0,01
	10	2,9	2,2	0,0	0,0	497	0,0	0,0
	20	5,6	4,2	0,2	0,2	509	0,0	0,0
	30	32,9	24,7	2,2	1,7	552	0,0	0,0
	40	28,5	21,4	0,0	0,0	594	0,0	0,0
	50	17,7	13,3	0,0	0,0	548	0,0	0,0
	9,57	10,7	8,0	0,0	0,0	498		
	10	7,7	5,8	0,0	0,0	495		
	20	6,0	4,5	0,0	0,0	502		
	30	4,6	3,5	0,0	0,0	508		
	40	2,9	2,2	0,0	0,0	532		
Massimo		151,5	113,6	2,2	1,7	829,0	0,0	0,0
Minimo		2,9	2,2	0,0	0,0	479,0	0,0	0,0
Deviazione ST		50,6	38,0	0,5	0,4	93,3	0,0	0,0
Moda		3,7	2,8	0,0	0,0	548,0	0,0	0,0
Media		45,2	33,9	0,3	0,2	572,5	0,0	0,0
Coeff. Di Var.		1,12	1,12	1,67	1,67	0,16	-	2,34

III Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
10,19	92,1	69,1	2,3	1,7	846		
10	81,5	61,1	0,4	0,3	802		
20	55,3	41,5	0,0	0,0	694		
30	38,1	28,6	0,0	0,0	684		
40	26,6	20,0	0,0	0,0	622		
50	18,5	13,9	0,0	0,0	568		
10,20	14,1	10,6	0,0	0,0	552		
10	11,5	8,6	0,0	0,0	540		
20	10,7	8,0	0,0	0,0	508		
30	8,5	6,4	0,0	0,0	542		
40	7,1	5,3	0,0	0,0	524		
50	6,3	4,7	0,0	0,0	558		
10,21	6,9	5,2	0,0	0,0	574	5,8	4,4
10	5,9	4,4	0,0	0,0	538	5,8	4,4
20	6,1	4,6	0,0	0,0	558	5,8	4,4
30	5,1	3,8	0,0	0,0	536	5,8	4,4
40	4,1	3,1	0,0	0,0	552	5,8	4,4
50	4,5	3,4	0,0	0,0	526	5,8	4,4
10,22	3,5	2,6	0,0	0,0	508		
10	4,2	3,2	0,0	0,0	472		
20	4,5	3,4	0,0	0,0	496		
30	5,8	4,4	0,0	0,0	518		
40	4,0	3,0	0,0	0,0	460		
50	3,6	2,7	0,0	0,0	464		
10,23	7,3	5,5	0,0	0,0	534		
10	10,8	8,1	0,0	0,0	475		
20	11,3	8,5	0,0	0,0	472		
30	9,6	7,2	0,0	0,0	478		
40	8,1	6,1	0,0	0,0	502		
50	10,2	7,7	0,0	0,0	492		
10,24	64,1	48,1	2,8	2,1	488		
10	220,8	165,6	4,4	3,3	556		
20	154,1	115,6	0,0	0,0	580		
30	168,5	126,4	6,3	4,7	554		
40	301,2	225,9	6,1	4,6	618		
50	294,8	221,1	4,6	3,5	711		
10,25	228,4	171,3	1,2	0,9	688		
10	144,9	108,7	0,0	0,0	586		
20	93,3	70,0	0,0	0,0	530		
30	61,8	46,4	0,0	0,0	502		
40	42,5	31,9	0,0	0,0	489		
50	30,2	22,7	0,0	0,0	517		
10,26	21,5	16,1	0,0	0,0	530		
10	17,6	13,2	0,0	0,0	522		
20	15,0	11,3	0,0	0,0	522		
30	26,2	19,7	0,0	0,0	544		
40	43,5	32,6	0,0	0,0	591		
50	75,7	56,8	3,0	2,3	630		
10,27	75,9	56,9	0,2	0,2	618		
10	46,8	35,1	0,0	0,0	532		
20	29,5	22,1	0,0	0,0	499		
30	20,5	15,4	0,0	0,0	510		

40	14,2	10,7	0,0	0,0	518		
50	17,0	12,8	0,0	0,0	516		
10,28	28,0	21,0	0,2	0,2	596		
10	22,6	17,0	0,0	0,0	629		
20	15,1	11,3	0,0	0,0	566		
30	10,6	8,0	0,0	0,0	532		
40	7,9	5,9	0,0	0,0	506		
50	6,3	4,7	0,0	0,0	504		
10,29	8,9	6,7	0,0	0,0	558		
10	13,9	10,4	0,0	0,0	628		
20	10,3	7,7	0,0	0,0	589		
30	6,7	5,0	0,0	0,0	516		
40	4,8	3,6	0,0	0,0	476		
Massimo	301,2	225,9	6,3	4,7	846,0	5,8	4,4
Minimo	3,5	2,6	0,0	0,0	460,0	5,8	4,4
Deviazione ST	67,5	50,6	1,4	1,1	75,0	0,0	0,0
Moda	6,3	4,7	0,0	0,0	558,0	5,8	4,4
Media	43,5	32,6	0,5	0,4	554,6	5,8	4,4
Coeff. Di Var.	1,55	1,55	2,89	2,89	0,14	0,00	0,00

Azienda Agraria Unitus 31/08/2005

I Rilevamento

ppm

Ora	**CO**	**CO TWA**	**VOC**	**VOC TWA**	**CO_2**	**Benzene**	**Benzene TWA**
11,30	0,1	0,1	0,0	0,0	934	0,0	0,00
10	0,0	0,0	0,0	0,0	922	0,0	0,00
20	0,1	0,1	0,0	0,0	1013	0,0	0,00
30	0,1	0,1	0,0	0,0	905	0,0	0,00
40	0,0	0,0	0,0	0,0	768	0,0	0,00
50	0,1	0,1	0,0	0,0	740	0,0	0,00
11,31	0,0	0,0	0,0	0,0	704		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	716		
20	9,7	7,3	2,4	1,8	718		
30	40,7	30,5	5,1	3,8	746		
40	46,8	35,1	4,0	3,0	720		
50	44,3	33,2	4,7	3,5	710		
11,32	38,8	29,1	5,1	3,8	754		
10	23,4	17,6	0,9	0,7	690		
20	14,9	11,2	0,9	0,7	702		
30	9,8	7,4	1,5	1,1	722		
40	5,0	3,8	1,4	1,1	711		
50	3,1	2,3	1,4	1,1	654		
11,33	2,5	1,9	0,7	0,5	656		
10	1,9	1,4	0,9	0,7	654		
20	0,9	0,7	1,3	1,0	592		
30	0,8	0,6	1,9	1,4	649		
40	0,1	0,1	0,7	0,5	614		
50	1,0	0,8	0,4	0,3	584		

11,34	1,2	0,9	0,8	0,6	644		
10	1,3	1,0	0,6	0,5	660		
20	0,7	0,5	0,8	0,6	565		
30	3,4	2,6	2,7	2,0	648		
40	2,4	1,8	1,1	0,8	660		
50	1,7	1,3	1,0	0,8	632		
11,35	1,1	0,8	0,4	0,3	608		
10	0,6	0,5	0,2	0,2	607		
20	0,5	0,4	0,5	0,4	596		
30	0,1	0,1	0,3	0,2	618		
40	0,0	0,0	0,0	0,0	652		
50	0,2	0,2	0,0	0,0	592		
11,36	1,3	1,0	0,5	0,4	562		
10	9,1	6,8	4,8	3,6	605		
20	15,3	11,5	2,9	2,2	550		
30	21,3	16,0	3,6	2,7	585		
40	14,4	10,8	0,6	0,5	661		
50	9,2	6,9	0,6	0,5	686		
11,37	11,7	8,8	0,7	0,5	691		
10	24,6	18,5	4,2	3,2	698		
20	43,2	32,4	1,4	1,1	613		
30	30,5	22,9	0,3	0,2	596		
40	19,6	14,7	0,3	0,2	572		
50	14,9	11,2	1,2	0,9	542		
11,38	19,4	14,6	2,0	1,5	627	0,0	0,00
10	16,3	12,2	1,6	1,2	627	0,0	0,00
20	13,8	10,4	0,7	0,5	578	0,0	0,00
30	10,3	7,7	0,7	0,5	552	0,0	0,00
40	10,5	7,9	1,2	0,9	587	0,0	0,00
50	9,7	7,3	0,6	0,5	590	0,0	0,00
11,39	14,3	10,7	1,4	1,1	582		
10	23,4	17,6	0,3	0,2	606		
20	16,7	12,5	0,7	0,5	601		
30	14,1	10,6	0,8	0,6	528		
40	10,4	7,8	0,0	0,0	558		
50	8,2	6,2	0,0	0,0	582		
11,40	6,2	4,7	0,0	0,0	580	0,0	0,00
10	2,6	2,0	0,0	0,0	554	0,0	0,00
20	1,5	1,1	0,0	0,0	542	0,0	0,00
30	1,4	1,1	0,0	0,0	615	0,0	0,00
40	2,1	1,6	0,0	0,0	652	0,0	0,00
50	0,1	0,1	0,0	0,0	640	0,0	0,00
11,41	0,3	0,2	0,0	0,0	538		
10	0,7	0,5	0,0	0,0	560		
20	4,7	3,5	0,0	0,0	692		
30	4,1	3,1	0,0	0,0	630		
40	2,2	1,7	0,0	0,0	574		
50	0,9	0,7	0,0	0,0	611		
11,42	1,0	0,8	0,0	0,0	594		
10	1,9	1,4	0,2	0,2	560		
20	23,3	17,5	0,9	0,7	530		
30	19,9	14,9	0,0	0,0	540		
40	10,6	8,0	0,0	0,0	548		
50	9,2	6,9	0,1	0,1	526		
11,43	9,7	7,3	0,1	0,1	574	0,1	0,08
10	5,8	4,4	0,0	0,0	517	0,1	0,08

	20	1,7	1,3	0,0	0,0	486	0,1	0,08
	30	1,2	0,9	0,0	0,0	512	0,1	0,08
	40	0,1	0,1	0,0	0,0	520	0,1	0,08
	50						0,1	0,08
Massimo		46,80	35,10	5,10	3,83	1013,00	0,10	0,08
Minimo		0,00	0,00	0,00	0,00	486,00	0,00	0,00
Deviazione ST		11,42	8,56	1,29	0,97	95,61	0,04	0,03
Moda		0,10	0,08	0,00	0,00	654,00	0,00	0,00
Media		9,04	6,78	0,89	0,67	632,94	0,02	0,02
Coeff. Di Var.		1,26	1,26	1,45	1,45	0,15	1,94	1,94

Saline di Tarquinia 10/10/2005

I Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	BenzeneTWA
10,26	0,5	0,4	0,0	0,0	802		
10	0,7	0,5	0,0	0,0	714		
20	0,5	0,4	0,0	0,0	720		
30	0,5	0,4	0,0	0,0	701		
40	0,1	0,1	0,0	0,0	726		
50	0,0	0,0	0,0	0,0	806		
10,27	0,4	0,3	0,0	0,0	722		
10	0,4	0,3	0,0	0,0	791		
20	5,9	4,4	0,3	0,2	1129		
30	14,1	10,6	0,6	0,5	1691		
40	21,4	16,1	0,5	0,4	1732		
50	39,4	29,6	1,6	1,2	1652		
10,28	44,1	33,1	0,7	0,5	1837	7,5	5,6
10	34,4	25,8	0,7	0,5	1994	7,5	5,6
20	26,9	20,2	0,3	0,2	2039	7,5	5,6
30	17,5	13,1	0,2	0,2	2001	7,5	5,6
40	11,4	8,6	0,1	0,1	1863	7,5	5,6
50	8,8	6,6	0,0	0,0	1411	7,5	5,6
10,29	10,3	7,7	0,3	0,2	1604		
10	20,9	15,7	0,5	0,4	1894		
20	13,2	9,9	0,1	0,1	1680		
30	7,7	5,8	0,0	0,0	1140		
40	5,7	4,3	0,0	0,0	868		
50	3,8	2,9	0,0	0,0	776		
10,30	1,4	1,1	0,0	0,0	740		
10	1,3	1,0	0,0	0,0	718		
20	1,3	1,0	0,0	0,0	699		
30	0,6	0,5	0,0	0,0	673		
40	0,9	0,7	0,0	0,0	654		
50	0,6	0,5	0,1	0,1	668		
10,31	0,6	0,5	0,0	0,0	646		
10	0,3	0,2	0,1	0,1	650		
20	0,9	0,7	0,1	0,1	644		

30	0,2	0,2	0,1	0,1	666		
40	1,0	0,8	0,1	0,1	719		
50	1,2	0,9	0,0	0,0	710		
10,32	0,6	0,5	0,1	0,1	714		
10	0,8	0,6	0,0	0,0	802		
20	0,5	0,4	0,0	0,0	929		
30	0,9	0,7	0,0	0,0	822		
40	0,2	0,2	0,0	0,0	756		
50	0,4	0,3	0,0	0,0	688		
10,33	0,5	0,4	0,0	0,0	672		
10	0,9	0,7	0,0	0,0	689		
20	1,0	0,8	0,0	0,0	666		
30	0,7	0,5	0,0	0,0	630		
40	0,7	0,5	0,0	0,0	608		
50	1,2	0,9	0,1	0,1	565		
10,34	1,0	0,8	0,0	0,0	692		
10	0,6	0,5	0,0	0,0	750		
20	0,7	0,5	0,0	0,0	843		
30	0,6	0,5	0,0	0,0	872		
40	1,6	1,2	0,0	0,0	820		
50	3,5	2,6	0,0	0,0	686		
10,35	9,5	7,1	0,2	0,2	662		
10	10,5	7,9	0,1	0,1	730		
20	7,8	5,9	0,2	0,2	818		
30	9,1	6,8	0,2	0,2	954		
40	7,3	5,5	0,0	0,0	899		
50	5,5	4,1	0,0	0,0	920		
10,36	3,6	2,7	0,2	0,2	1063		
10	1,6	1,2	0,0	0,0	1081		
20	1,6	1,2	0,0	0,0	796		
30	1,7	1,3	0,0	0,0	843		
40	2,1	1,6	0,0	0,0	822		
50	0,7	0,5	0,0	0,0	738		
10,37	0,7	0,5	0,1	0,1	687	8,8	6,6
10	1,9	1,4	0,1	0,1	760	8,8	6,6
20	0,8	0,6	0,2	0,2	929	8,8	6,6
30	0,3	0,2	0,1	0,1	1578	8,8	6,6
40	1,6	1,2	0,2	0,2	1607	8,8	6,6
50	0,9	0,7	0,1	0,1	1095	8,8	6,6
10,38	1,5	1,1	0,1	0,1	982		
10	6,6	5,0	0,3	0,2	878		
20	19,8	14,9	0,7	0,5	922		
30	18,5	13,9	0,2	0,2	1163		
40	13,8	10,4	0,0	0,0	1341		
50	9,6	7,2	0,0	0,0	1194		
10,39	7,1	5,3	0,0	0,0	1115		
10	5,9	4,4	0,0	0,0	956		
20	10,2	7,7	0,2	0,2	966		
30	27,8	20,9	0,9	0,7	988		
40	45,7	34,3	1,5	1,1	1181		
50	35,1	26,3	0,4	0,3	1143		
10,40	23,0	17,3	0,2	0,2	1057		
10	14,9	11,2	0,1	0,1	868		
20	14,5	10,9	0,2	0,2	844		
30	14,6	11,0	0,4	0,3	886		
40	21,7	16,3	0,5	0,4	875		

50	22,4	16,8	0,4	0,3	802		
10,41	25,4	19,1	0,4	0,3	938		
10	33,3	25,0	0,8	0,6	874		
20	28,8	21,6	0,5	0,4	846		
30	27,5	20,6	0,6	0,5	867		
40	36,7	27,5	1,0	0,8	979		
50	48,2	36,2	1,6	1,2	1138		
10,42	40,5	30,4	0,7	0,5	1007		
10	24,1	18,1	0,2	0,2	827		
20	15,9	11,9	0,1	0,1	686		
30	10,3	7,7	0,0	0,0	638		
40	11,2	8,4	0,8	0,6	626		
50	14,3	10,7	0,6	0,5	634		
10,43	9,3	7,0	0,1	0,1	652		
10	6,1	4,6	0,0	0,0	576		
20	3,8	2,9	0,0	0,0	597		
30	3,4	2,6	0,1	0,1	582		
40	0,7	0,5	0,0	0,0	560		
50	1,4	1,1	0,0	0,0	584		
10,44	1,7	1,3	0,0	0,0	540		
10	7,5	5,6	0,2	0,2	534		
20	13,6	10,2	0,2	0,2	609		
30	14,7	11,0	0,2	0,2	644		
40	9,3	7,0	0,0	0,0	601		
50	5,2	3,9	0,0	0,0	576		
10,45	3,0	2,3	0,0	0,0	562		
10	2,2	1,7	0,0	0,0	530		
20	1,9	1,4	0,0	0,0	530		
30	0,9	0,7	0,0	0,0	601		
40	0,8	0,6	0,0	0,0	554		
50	1,9	1,4	0,0	0,0	558		
10,46	3,4	2,6	0,0	0,0	605		
10	10,8	8,1	0,2	0,2	648		
20	23,1	17,3	0,5	0,4	636		
30	34,2	25,7	0,6	0,5	683		
40	34,7	26,0	0,4	0,3	796		
50	24,4	18,3	0,1	0,1	779		
10,47	25,1	18,8	0,1	0,1	699	8,5	6,4
10	17,2	12,9	0,1	0,1	770	8,5	6,4
20	11,2	8,4	0,0	0,0	754	8,5	6,4
30	6,9	5,2	0,1	0,1	707	8,5	6,4
40	4,9	3,7	0,0	0,0	642	8,5	6,4
50	13,4	10,1	0,3	0,2	707	8,5	6,4
10,48	13,8	10,4	0,0	0,0	695		
10	7,8	5,9	0,1	0,1	633		
20	5,6	4,2	0,0	0,0	572		
30	2,8	2,1	0,1	0,1	544		
40	1,8	1,4	0,0	0,0	580		
50	1,9	1,4	0,0	0,0	560		
10,49	3,1	2,3	0,0	0,0	560		
10	0,8	0,6	0,0	0,0	544		
20	1,5	1,1	0,0	0,0	542		
30	6,3	4,7	0,1	0,1	587		
40	20,0	15,0	0,6	0,5	684		
50	24,2	18,2	0,5	0,4	668		

10,50	32,0	24,0	0,8	0,6	646		
10	30,8	23,1	0,4	0,3	695		
20	24,0	18,0	0,2	0,2	638		
30	14,5	10,9	0,0	0,0	566		
40	7,6	5,7	0,0	0,0	548		
50	5,4	4,1	0,0	0,0	594		
10,51	2,9	2,2	0,0	0,0	576		
10	3,7	2,8	0,0	0,0	546		
20	13,8	10,4	0,3	0,2	589		
30	13,3	10,0	0,1	0,1	612		
40	15,9	11,9	0,2	0,2	600		
50	31,7	23,8	1,1	0,8	565		
10,52	32,0	24,0	0,4	0,3	691		
10	19,3	14,5	0,0	0,0	614		
20	12,9	9,7	0,0	0,0	576		
30	6,6	5,0	0,0	0,0	556		
40	4,5	3,4	0,1	0,1	526		
Massimo	48,20	36,15	1,60	1,20	2039,00	8,80	6,60
Minimo	0,00	0,00	0,00	0,00	526,00	7,50	5,63
Deviazione ST	11,51	8,63	0,30	0,23	334,81	0,57	0,43
Moda	0,70	0,53	0,00	0,00	576,00	7,50	5,63
Media	10,36	7,77	0,19	0,14	832,36	8,27	6,20
Coeff. Di Var.	1,11	1,11	1,63	1,63	0,40	0,07	0,07

II Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	BenzeneTWA
11,02	0,3	0,2	0,2	0,2	789		
10	11,6	8,7	0,9	0,7	881		
20	21,3	16,0	0,8	0,6	930		
30	34,6	26,0	1,6	1,2	845		
40	57,2	42,9	1,7	1,3	780		
50	55,8	41,9	1,6	1,2	842		
11,03	48,8	36,6	1,0	0,8	930		
10	44,2	33,2	1,0	0,8	1001		
20	35,5	26,6	0,3	0,2	1054		
30	34,6	26,0	1,1	0,8	1829		
40	94,2	70,7	3,1	2,3	2305		
50	101,2	75,9	2,5	1,9	2384		
11,04	130,9	98,2	2,8	2,1	1960		
10	186,9	140,2	6,5	4,9	1643		
20	164,1	123,1	3,5	2,6	1855		
30	161,1	120,8	2,9	2,2	1643		
40	109,9	82,4	0,9	0,7	1462		
50	76,7	57,5	0,9	0,7	1552		
11,05	65,9	49,4	0,8	0,6	1424	9,9	7,4
10	79,1	59,3	1,7	1,3	1100	9,9	7,4
20	58,4	43,8	0,5	0,4	1411	9,9	7,4
30	36,8	27,6	0,4	0,3	2324	9,9	7,4
40	43,0	32,3	0,9	0,7	1943	9,9	7,4

50	67,4	50,6	1,4	1,1	1341	9,9	7,4
11,06	46,3	34,7	0,4	0,3	1246		
10	26,9	20,2	0,2	0,2	1235		
20	17,7	13,3	0,3	0,2	968		
30	12,1	9,1	0,4	0,3	877		
40	8,6	6,5	0,2	0,2	951		
50	7,4	5,6	0,3	0,2	966		
11,07	5,3	4,0	0,2	0,2	952		
10	3,7	2,8	0,4	0,3	888		
20	3,9	2,9	0,4	0,3	775		
30	2,9	2,2	0,3	0,2	743		
40	1,8	1,4	0,3	0,2	930		
50	1,9	1,4	0,2	0,2	823		
11,08	1,4	1,1	0,3	0,2	688		
10	1,3	1,0	0,3	0,2	835		
20	1,4	1,1	0,5	0,4	1279		
30	6,8	5,1	0,7	0,5	1212		
40	4,8	3,6	0,7	0,5	1049		
50	5,1	3,8	0,4	0,3	866		
11,09	4,8	3,6	0,5	0,4	748		
10	8,8	6,6	0,9	0,7	707		
20	18,7	14,0	0,4	0,3	672		
30	29,3	22,0	0,7	0,5	682		
40	24,7	18,5	0,4	0,3	698		
50	23,4	17,6	0,7	0,5	735		
11,10	20,3	15,2	0,6	0,5	769		
10	14,3	10,7	0,4	0,3	714		
20	9,9	7,4	0,3	0,2	714		
30	7,2	5,4	0,3	0,2	703		
40	6,5	4,9	0,2	0,2	635		
50	5,7	4,3	0,0	0,0	594		
11,11	4,0	3,0	0,2	0,2	692	6,4	4,8
10	5,4	4,1	0,1	0,1	881	6,4	4,8
20	5,7	4,3	0,0	0,0	807	6,4	4,8
30	5,5	4,1	0,1	0,1	700	6,4	4,8
40	3,7	2,8	0,1	0,1	654	6,4	4,8
50	5,0	3,8	0,2	0,2	586	6,4	4,8
11,12	15,2	11,4	0,4	0,3	603		
10	14,1	10,6	0,1	0,1	619		
20	10,0	7,5	0,1	0,1	608		
30	6,3	4,7	0,1	0,1	615		
40	4,4	3,3	0,4	0,3	723		
50	2,7	2,0	0,4	0,3	726		
11,13	3,8	2,9	0,5	0,4	722		
10	5,5	4,1	0,6	0,5	697		
20	3,4	2,6	0,2	0,2	685		
30	3,0	2,3	0,3	0,2	684		
40	4,2	3,2	0,3	0,2	599		
50	3,5	2,6	0,2	0,2	550		
11,14	2,8	2,1	0,3	0,2	616		
10	3,0	2,3	0,4	0,3	685		
20	1,8	1,4	0,3	0,2	636		
30	2,7	2,0	0,3	0,2	674		
40	4,9	3,7	1,0	0,8	618		
50	16,5	12,4	2,7	2,0	779		
11,15	27,5	20,6	2,1	1,6	1050		

10	22,9	17,2	1,2	0,9	900		
20	68,4	51,3	4,2	3,2	1036		
30	85,1	63,8	2,7	2,0	1334		
40	52,4	39,3	0,9	0,7	1094		
50	36,4	27,3	1,0	0,8	886		
11,16	30,2	22,7	1,1	0,8	803		
10	40,4	30,3	2,0	1,5	793		
20	71,9	53,9	1,6	1,2	790		
30	48,8	36,6	0,6	0,5	860		
40	47,3	35,5	1,4	1,1	842		
50	121,3	91,0	4,6	3,5	936		
11,17	93,6	70,2	1,3	1,0	1046		
10	57,9	43,4	0,7	0,5	912		
20	36,3	27,2	0,3	0,2	848		
30	25,1	18,8	0,3	0,2	717		
40	17,1	12,8	0,3	0,2	636		
50	11,2	8,4	0,2	0,2	611		
11,18	7,2	5,4	0,2	0,2	623		
10	5,8	4,4	0,0	0,0	633		
20	4,8	3,6	0,2	0,2	691		
30	4,6	3,5	0,4	0,3	746		
40	3,4	2,6	3,3	2,5	717		
50	2,9	2,2	2,3	1,7	664		
11,19	2,6	2,0	1,5	1,1	582		
10	2,9	2,2	2,1	1,6	695		
20	1,6	1,2	1,6	1,2	940		
30	2,9	2,2	2,0	1,5	1336		
40	1,1	0,8	2,3	1,7	1017		
50	1,9	1,4	1,9	1,4	970		
11,20	1,6	1,2	1,7	1,3	994		
10	2,7	2,0	1,9	1,4	1084		
20	3,1	2,3	1,3	1,0	1036		
30	1,9	1,4	1,1	0,8	1188		
40	1,6	1,2	1,1	0,8	1069		
50	1,8	1,4	1,1	0,8	912		
11,21	1,4	1,1	0,9	0,7	1112		
10	2,0	1,5	0,9	0,7	1525		
20	1,2	0,9	0,9	0,7	1489		
30	1,8	1,4	0,7	0,5	1433		
40	0,4	0,3	0,5	0,4	1492		
50	1,3	1,0	0,3	0,2	1914		
Massimo	186,9	140,2	6,5	4,9	2384,0	9,9	7,4
Minimo	0,3	0,2	0,0	0,0	550,0	6,4	4,8
Deviazione ST	37,1	27,8	1,0	0,8	394,1	1,8	1,4
Moda	2,9	2,2	0,3	0,2	930,0	9,9	7,4
Media	26,2	19,7	1,0	0,7	975,0	8,2	6,1
Coeff. Di Var.	1,4	1,4	1,1	1,1	0,4	0,2	0,2

III Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
11,22	1,4	1,1	0,4	0,3	1653		
10	1,9	1,4	0,1	0,1	1260		
20	2,1	1,6	0,5	0,4	1045		
30	0,9	0,7	0,7	0,5	1198		
40	2,3	1,7	0,6	0,5	1679		
50	1,1	0,8	0,4	0,3	1980		
11,23	0,6	0,5	0,4	0,3	1588		
10	0,3	0,2	0,1	0,1	991		
20	1,7	1,3	0,2	0,2	908		
30	0,5	0,4	0,1	0,1	820		
40	1,4	1,1	0,1	0,1	703		
50	1,0	0,8	0,1	0,1	771		
11,24	3,5	2,6	0,3	0,2	836	1,7	1,3
10	2,9	2,2	0,1	0,1	924	1,7	1,3
20	3,1	2,3	0,2	0,2	978	1,7	1,3
30	8,8	6,6	0,4	0,3	976	1,7	1,3
40	20,7	15,5	0,8	0,6	885	1,7	1,3
50	37,1	27,8	0,5	0,4	842	1,7	1,3
11,25	48,2	36,2	0,2	0,2	824		
10	33,6	25,2	0,3	0,2	775		
20	21,5	16,1	0,3	0,2	886		
30	14,9	11,2	0,1	0,1	851		
40	11,7	8,8	0,0	0,0	1116		
50	9,0	6,8	0,0	0,0	1328		
11,26	11,1	8,3	0,0	0,0	984		
10	7,8	5,9	0,0	0,0	972		
20	4,9	3,7	0,0	0,0	890		
30	3,7	2,8	0,0	0,0	786		
40	1,7	1,3	0,1	0,1	688		
50	1,6	1,2	0,0	0,0	626		
11,27	0,4	0,3	0,0	0,0	652		
10	1,2	0,9	0,2	0,2	597		
20	0,2	0,2	0,1	0,1	606		
30	1,5	1,1	0,0	0,0	646		
40	0,5	0,4	0,0	0,0	715		
50	1,0	0,8	0,1	0,1	722		
11,28	1,1	0,8	0,1	0,1	736		
10	0,1	0,1	0,0	0,0	780		
20	0,1	0,1	0,0	0,0	821		
30	0,3	0,2	0,0	0,0	894		
40	0,5	0,4	0,0	0,0	904		
50	1,7	1,3	0,1	0,1	907		
11,29	1,7	1,3	0,0	0,0	835		
10	0,7	0,5	0,0	0,0	735		
20	0,6	0,5	0,0	0,0	711		
30	0,4	0,3	0,0	0,0	830		
40	0,9	0,7	0,0	0,0	983		
50	0,3	0,2	0,0	0,0	889		
11,30	0,8	0,6	0,0	0,0	803		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	896		
20	0,0	0,0	0,0	0,0	962		

30	0,8	0,6	0,0	0,0	1208		
40	0,7	0,5	0,0	0,0	1197		
50	0,2	0,2	0,0	0,0	1290		
11,31	0,6	0,5	0,0	0,0	1066		
10	0,3	0,2	0,0	0,0	874		
20	0,6	0,5	0,0	0,0	925		
30	0,1	0,1	0,0	0,0	858		
40	0,6	0,5	0,0	0,0	890		
50	0,4	0,3	0,0	0,0	853		
11,32	0,2	0,2	0,0	0,0	768		
10	0,6	0,5	0,0	0,0	686		
20	0,5	0,4	0,1	0,1	604		
30	1,5	1,1	0,0	0,0	643		
40	1,4	1,1	0,0	0,0	731		
50	1,2	0,9	0,0	0,0	615		
11,33	0,3	0,2	0,0	0,0	649		
10	0,4	0,3	0,0	0,0	935		
20	0,0	0,0	0,0	0,0	990		
30	0,7	0,5	0,0	0,0	1069		
40	0,4	0,3	0,0	0,0	1002		
50	0,5	0,4	0,0	0,0	982		
11,34	0,5	0,4	0,0	0,0	966		
10	0,8	0,6	0,0	0,0	818		
20	0,0	0,0	0,1	0,1	897		
30	0,5	0,4	0,0	0,0	979		
40	0,9	0,7	0,1	0,1	912		
50	0,6	0,5	0,0	0,0	835		
11,35	1,3	1,0	0,0	0,0	756	0,0	0,05
10	0,3	0,2	0,0	0,0	671	0,0	0,0
20	0,3	0,2	0,0	0,0	610	0,0	0,0
30	0,1	0,1	0,0	0,0	640	0,0	0,0
40	0,4	0,3	0,0	0,0	652	0,0	0,0
50	0,4	0,3	0,0	0,0	628	0,0	0,0
11,36	0,6	0,5	0,0	0,0	640		
10	0,5	0,4	0,0	0,0	650		
20	0,2	0,2	0,0	0,0	790		
30	0,2	0,2	0,0	0,0	852		
40	0,4	0,3	0,0	0,0	965		
50	0,5	0,4	0,0	0,0	983		
11,37	0,3	0,2	0,0	0,0	930		
10	0,3	0,2	0,0	0,0	824		
20	0,4	0,3	0,0	0,0	675		
30	0,8	0,6	0,0	0,0	709		
40	0,1	0,1	0,0	0,0	758		
50	0,1	0,1	0,0	0,0	760		
11,38	1,0	0,8	0,0	0,0	636		
10	0,4	0,3	0,0	0,0	631		
20	0,1	0,1	0,0	0,0	773		
30	0,3	0,2	0,0	0,0	746		
40	0,4	0,3	0,0	0,0	672		
50	0,3	0,2	0,0	0,0	632		
11,39	1,8	1,4	0,0	0,0	670		
10	2,2	1,7	0,1	0,1	728		
20	1,0	0,8	0,0	0,0	795		
30	0,8	0,6	0,1	0,1	736		
40	0,3	0,2	0,2	0,2	744		

50	0,4	0,3	0,1	0,1	673		
11,40	0,5	0,4	0,1	0,1	644		
10	0,6	0,5	0,1	0,1	656		
20	1,2	0,9	0,0	0,0	624		
30	0,0	0,0	0,0	0,0	582		
40	0,6	0,5	0,1	0,1	516		
50	0,5	0,4	0,3	0,2	493		
11,41	0,1	0,1	0,1	0,1	513		
10	0,4	0,3	0,2	0,2	526		
20	0,2	0,2	0,2	0,2	501		
30	0,6	0,5	0,0	0,0	468		
Massimo	48,2	36,2	0,8	0,6	1980,0	1,7	1,3
Minimo	0,0	0,0	0,0	0,0	468,0	0,0	0,0
Deviazione ST	7,0	5,3	0,2	0,1	242,1	0,9	0,7
Moda	0,4	0,3	0,0	0,0	824,0	1,7	1,3
Media	2,6	2,0	0,1	0,1	839,7	0,9	0,6
Coeff. Di Var.	2,7	2,7	1,9	1,9	0,3	1,0	1,0

Azienda Agraria Unitus 01/03/2006

I Rilevamento
ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
10,06	1,2	0,9	0,0	0,0	163		
10	0,3	0,2	0,0	0,0	84		
20	0,3	0,2	0,0	0,0	54		
30	0,5	0,4	0,0	0,0	1012		
40	0,6	0,5	0,0	0,0	1471		
50	0,7	0,5	0,0	0,0	571		
10,07	0,5	0,4	0,0	0,0	310		
10	0,9	0,7	0,0	0,0	187		
20	0,3	0,2	0,0	0,0	132		
30	0,3	0,2	0,0	0,0	54		
40	0,3	0,2	0,0	0,0	78		
50	0,8	0,6	0,4	0,3	420		
10,08	0,8	0,6	0,0	0,0	1326		
10	1,1	0,8	0,0	0,0	2844		
20	1,3	1,0	0,0	0,0	2264		
30	0,9	0,7	0,0	0,0	2772		
40	1,4	1,1	0,0	0,0	1763		
50	1,1	0,8	0,0	0,0	805		
10,09	0,6	0,5	0,0	0,0	896		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	1506		
20	1,0	0,8	0,0	0,0	2790		
30	0,7	0,5	0,0	0,0	4103		
40	0,6	0,5	0,0	0,0	2363		
50	0,5	0,4	0,0	0,0	2529		
10,10	0,8	0,6	0,0	0,0	5371		
10	0,7	0,5	0,0	0,0	6918		

20	0,2	0,2	0,0	0,0	262		
30	1,2	0,9	0,0	0,0	1056		
40	0,3	0,2	0,0	0,0	2307		
50	0,6	0,5	0,0	0,0	4367		
10,11	0,6	0,5	0,0	0,0	1985		
10	1,1	0,8	0,0	0,0	900		
20	1,1	0,8	0,0	0,0	884		
30	1,5	1,1	5,1	3,8	457		
40	2,2	1,7	11,1	8,3	535		
50	3,8	2,9	6,2	4,7	1247		
10,12	3,9	2,9	4,1	3,1	1396		
10	3,9	2,9	2,6	2,0	628		
20	3,9	2,9	4,1	3,1	657		
30	2,2	1,7	1,4	1,1	614		
40	4,5	3,4	3,3	2,5	490		
50	4,8	3,6	1,3	1,0	394		
10,13	3,0	2,3	1,8	1,4	819		
10	2,8	2,1	0,7	0,5	1159		
20	2,2	1,7	1,3	1,0	604		
30	0,9	0,7	0,3	0,2	678		
40	0,9	0,7	0,0	0,0	621		
50	0,4	0,3	0,2	0,2	703		
10,14	1,9	1,4	1,0	0,8	253	0,00	0,01
10	3,9	2,9	2,9	2,2	127	0,00	0,01
20	4,2	3,2	0,3	0,2	328	0,00	0,01
30	1,8	1,4	0,5	0,4	182	0,00	0,01
40	4,8	3,6	2,4	1,8	433	0,00	0,01
50	6,0	4,5	1,4	1,1	1246	0,00	0,01
10,15	4,4	3,3	0,9	0,7	1063		
10	8,8	6,6	3,7	2,8	1210		
20	8,1	6,1	2,4	1,8	1839		
30	7,3	5,5	3,0	2,3	1919		
40	5,6	4,2	0,2	0,2	1033		
50	3,8	2,9	0,0	0,0	2999		
10,16	1,9	1,4	0,2	0,2	2133		
10	3,1	2,3	0,0	0,0	708		
20	2,1	1,6	0,3	0,2	128		
30	1,0	0,8	0,5	0,4	60		
40	1,7	1,3	0,2	0,2	0		
50	2,6	2,0	2,4	1,8	0		
10,17	11,8	8,9	12,8	9,6	0		
10	15,7	11,8	4,8	3,6	0		
20	10,5	7,9	2,0	1,5	0		
30	6,4	4,8	3,2	2,4	0		
40	4,0	3,0	2,3	1,7	0		
50	4,6	3,5	1,5	1,1	0		
10,18	4,2	3,2	1,8	1,4	0	0,5	0,4
10	3,6	2,7	1,7	1,3	0	0,5	0,4
20	3,8	2,9	2,7	2,0	0	0,5	0,4
30	5,8	4,4	3,6	2,7	6	0,5	0,4
40	5,1	3,8	2,6	2,0	260	0,5	0,4
50	6,0	4,5	2,6	2,0	477	0,5	0,4
10,19	9,2	6,9	9,3	7,0	759		
10	10,8	8,1	2,3	1,7	663		
20	9,2	6,9	1,9	1,4	296		

30	7,2	5,4	1,6	1,2	90		
40	5,3	4,0	1,5	1,1	180		
50	4,3	3,2	1,3	1,0	491		
10,20	6,0	4,5	3,0	2,3	921		
10	5,9	4,4	3,8	2,9	471		
20	6,7	5,0	6,6	5,0	157		
30	7,3	5,5	2,0	1,5	120		
40	4,1	3,1	1,1	0,8	66		
50	4,5	3,4	13,3	10,0	0		
10,21	6,9	5,2	6,2	4,7	36		
10	4,9	3,7	1,4	1,1	547		
20	8,0	6,0	12,2	9,2	1020		
30	11,0	8,3	7,3	5,5	1517		
40	15,4	11,6	21,7	16,3	644		
50	19,4	14,6	7,2	5,4	158		
10,22	10,9	8,2	1,5	1,1	0		
10	6,6	5,0	0,8	0,6	0		
20	5,1	3,8	0,3	0,2	0		
30	4,1	3,1	0,2	0,2	0		
40	1,8	1,4	0,2	0,2	0		
50	16,7	12,5	45,2	33,9	0		
10,23	185,3	139,0	233,1	174,8	0		
10	666,2	499,7	410,0	307,5	340		
20	1274,7	956,0	749,2	561,9	4127		
30	1291,5	968,6	461,4	346,1	6679		
40	1292,7	969,5	820,8	615,6	8023		
50	1292,2	969,2	810,7	608,0	12342		
Massimo	1292,7	969,5	820,8	615,6	12342,0	0,5	0,4
Minimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Deviazione ST	250,9	188,2	143,4	107,6	1840,0	0,3	0,2
Moda	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Media	59,4	44,5	34,7	26,0	1125,9	0,3	0,2
Coeff. Di Var.	4,23	4,2	4,14	4,1	1,63	1,04	1,0

II Rilevamento (condizioni peggiori)

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
10,24	1291,6	968,7	1322,1	991,6	14608	49,1	36,8
10	1292,7	969,5	567,9	425,9	17653	49,1	36,8
20	1291,7	968,8	130,1	97,6	6723	49,1	36,8
30	1292,2	969,2	80,6	60,5	2255	49,1	36,8
40	1291,8	968,9	60,1	45,1	1082	49,1	36,8
50	1291,8	968,9	48,9	36,7	453	49,1	36,8
10,25	1292,3	969,2	41,3	31,0	196		
10	1291,7	968,8	33,7	25,3	102		
20	1292,1	969,1	28,8	21,6	0		
30	1292,9	969,7	27,1	20,3	0		
40	1293,0	969,8	26,0	19,5	0		
50	1292,0	969,0	22,7	17,0	0		
10,26	1252,7	939,5	18,3	13,7	0		

10	744,0	558,0	16,7	12,5	0		
20	377,0	282,8	16,2	12,2	0		
30	217,3	163,0	20,3	15,2	0		
40	141,8	106,4	14,6	11,0	0		
50	102,7	77,0	13,5	10,1	0		
10,27	81,2	60,9	11,4	8,6	0		
10	67,2	50,4	10,8	8,1	0		
20	57,5	43,1	11,0	8,3	0		
30	49,5	37,1	9,7	7,3	0		
40	44,4	33,3	9,2	6,9	0		
Massimo	1293,0	969,8	1322,1	991,6	17653,0	49,1	36,8
Minimo	44,4	33,3	9,2	6,9	0,0	49,1	36,8
Deviazione ST	575,6	431,7	288,2	216,1	4748,5	0,0	0,0
Moda	1291,7	968,8	-	-	0,0	49,1	36,8
Media	810,5	607,9	110,5	82,9	1872,7	49,1	36,8
Coeff. Di Var.	0,7	0,7	2,6	2,6	2,5	0,0	0,0

III Rilevamento (cond.pegg. miscela ecologica+olio)

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
10,31	0,5	0,4	0,3	0,2	187		
10	0,5	0,4	0,8	0,6	112		
20	0	0,0	0	0,0	0		
30	0	0,0	0	0,0	0		
40	0	0,0	0	0,0	0		
50	0	0,0	0	0,0	1034		
10,32	0	0,0	0	0,0	27952		
10	0	0,0	0	0,0	22520		
20	0	0,0	0	0,0	5096		
30	0	0,0	0	0,0	2351		
40	0	0,0	0	0,0	1076		
50	0	0,0	0	0,0	409		
10,33	0	0,0	0	0,0	60		
10	0	0,0	0	0,0	36		
20	0	0,0	0	0,0	0		
30	0	0,0	0	0,0	0		
40	0	0,0	0	0,0	0		
50	0	0,0	0	0,0	6		
10,34	0	0,0	0	0,0	30		
10	0	0,0	0	0,0	0		
20	0	0,0	0	0,0	0		
30	0	0,0	0	0,0	0		
40	0	0,0	0	0,0	0		
50	0	0,0	0	0,0	0		
10,35	0	0,0	0	0,0	0		
10	0	0,0	0	0,0	0		
20	0	0,0	0	0,0	0		
30	0	0,0	0	0,0	0		
40	0	0,0	0	0,0	0		

50	0	0,0	0	0,0	0		
10,36	0	0,0	0	0,0	0		
10	0	0,0	0	0,0	0		
20	0	0,0	0	0,0	0		
30	0	0,0	0	0,0	0		
40	0	0,0	0	0,0	0		
50	0	0,0	0	0,0	0		
10,37	0	0,0	0	0,0	0		
10	0	0,0	0	0,0	0		
20	1,4	1,1	10,3	7,7	0		
30	809,7	607,3	403,7	302,8	1663		
40	1276,1	957,1	541,6	406,2	11612		
50	1278,5	958,9	797,9	598,4	31031		
10,38	1278,4	958,8	636,2	477,2	28186	110,5	82,9
10	1278,5	958,9	387,4	290,6	20258	110,5	82,9
20	1278,9	959,2	216,9	162,7	23414	110,5	82,9
30	1278,5	958,9	196,2	147,2	35293	110,5	82,9
40	1278,3	958,7	24,9	18,7	29618	110,5	82,9
50	1279,5	959,6	2	1,5	18441	110,5	82,9
10,39	1278,6	959,0	1,1	0,8	6498		
10	1278,9	959,2	0,7	0,5	3271		
20	1278,6	959,0	0,1	0,1	1996		
30	1279	959,3	0	0,0	1352		
40	1279	959,3	0	0,0	815		
50	1279,8	959,9	0	0,0	489		
10,40	1278,6	959,0	0	0,0	334		
10	1279,1	959,3	0	0,0	222		
20	1279,4	959,6	0	0,0	120		
30	1278,1	958,6	0	0,0	0		
40	1279,6	959,7	0	0,0	0		
50	1278,3	958,7	0	0,0	0		
10,41	1278,8	959,1	0	0,0	0		
10	1279,1	959,3	0	0,0	0		
20	1279	959,3	0	0,0	0		
30	1279,2	959,4	0	0,0	0		
40	1279,7	959,8	0	0,0	0		
Massimo	1279,8	959,9	636,2	477,2	35293,0	110,5	82,9
Minimo	1278,1	958,6	0,0	0,0	0,0	110,5	82,9
Deviazione ST	0,5	0,4	157,8	118,3	11706,0	0,0	0,0
Moda	1278,6	959,0	0,0	0,0	0,0	110,5	82,9
Media	1278,9	959,2	63,7	47,8	7404,7	110,5	82,9
Coeff. Di Var.	0,0	0,0	2,5	2,5	1,6	0,0	0,0

Saline di Tarquinia 07/02/2006

I Rilevamento

ppm

Ora	**CO**	**CO TWA**	**VOC**	**VOC TWA**	**CO_2**	**Benzene**	**Benzene TWA**
10,23	1,0	0,8	0,1	0,1	1783		

10	0,7	0,5	0,0	0,0	1275
20	0,7	0,5	0,0	0,0	1385
30	0,2	0,2	0,0	0,0	2175
40	0,5	0,4	0,0	0,0	2516
50	1,0	0,8	0,0	0,0	4542
10,24	0,4	0,3	0,1	0,1	7331
10	1,0	0,8	0,0	0,0	8018
20	0,7	0,5	0,0	0,0	6288
30	0,8	0,6	0,0	0,0	5805
40	0,9	0,7	0,0	0,0	10012
50	1,3	1,0	0,0	0,0	11578
10,25	0,8	0,6	0,0	0,0	9168
10	0,3	0,2	0,0	0,0	10156
20	0,8	0,6	0,0	0,0	6541
30	0,5	0,4	0,0	0,0	6829
40	0,4	0,3	0,0	0,0	7684
50	1,3	1,0	0,0	0,0	5690
10,26	1,1	0,8	0,0	0,0	5857
10	1,2	0,9	0,0	0,0	3405
20	0,5	0,4	0,0	0,0	2875
30	1,3	1,0	0,0	0,0	3963
40	0,9	0,7	0,0	0,0	4011
50	0,8	0,6	0,0	0,0	3471
10,27	0,1	0,1	0,0	0,0	3030
10	1,2	0,9	0,0	0,0	4104
20	1,5	1,1	0,0	0,0	8734
30	1,9	1,4	0,0	0,0	8498
40	1,9	1,4	0,1	0,1	8273
50	1,7	1,3	0,0	0,0	8084
10,28	2,0	1,5	0,0	0,0	7955
10	1,7	1,3	0,3	0,2	4873
20	5,9	4,4	0,7	0,5	3776
30	5,0	3,8	0,1	0,1	3701
40	3,5	2,6	0,0	0,0	3081
50	7,8	5,9	1,8	1,4	3198
10,29	7,4	5,6	0,2	0,2	3686
10	7,0	5,3	0,0	0,0	2851
20	5,0	3,8	0,0	0,0	2418
30	2,6	2,0	0,0	0,0	2495
40	2,1	1,6	0,1	0,1	2837
50	1,3	1,0	0,0	0,0	3085
10,30	2,3	1,7	0,0	0,0	3873
10	3,4	2,6	0,2	0,2	4120
20	2,6	2,0	0,0	0,0	3235
30	1,6	1,2	0,0	0,0	2296
40	1,1	0,8	0,0	0,0	1605
50	1,6	1,2	0,0	0,0	1231
10,31	2,0	1,5	0,0	0,0	1374
10	1,2	0,9	0,0	0,0	3360
20	1,5	1,1	0,0	0,0	3612
30	1,4	1,1	0,0	0,0	3319
40	0,9	0,7	0,0	0,0	2692
50	1,2	0,9	0,0	0,0	2484
10,32	1,6	1,2	0,0	0,0	2561
10	1,0	0,8	0,0	0,0	2561
20	1,2	0,9	0,0	0,0	2330

30	1,6	1,2	0,0	0,0	1892		
40	0,8	0,6	0,0	0,0	1804		
50	0,8	0,6	0,0	0,0	1583		
10,33	1,6	1,2	0,0	0,0	1660		
10	1,3	1,0	0,0	0,0	1638		
20	1,9	1,4	0,0	0,0	1649		
30	1,0	0,8	0,0	0,0	1308		
40	0,3	0,2	0,0	0,0	1696		
50	1,2	0,9	0,0	0,0	2572		
10,34	1,1	0,8	0,1	0,1	2418		
10	2,5	1,9	0,5	0,4	2666		
20	3,9	2,9	0,1	0,1	3443		
30	2,4	1,8	0,0	0,0	2722		
40	2,0	1,5	0,1	0,1	2143		
50	2,8	2,1	0,0	0,0	2297		
10,35	2,2	1,7	0,1	0,1	2374		
10	2,8	2,1	0,4	0,3	3096		
20	4,8	3,6	0,4	0,3	3363		
30	5,4	4,1	0,3	0,2	3580		
40	5,4	4,1	0,3	0,2	4227		
50	6,1	4,6	1,2	0,9	5037		
10,36	7,9	5,9	0,7	0,5	4365		
10	8,5	6,4	1,1	0,8	3871		
20	11,3	8,5	2,1	1,6	4194		
30	14,0	10,5	1,5	1,1	4642		
40	10,6	8,0	0,4	0,3	4472		
50	9,3	7,0	1,4	1,1	3330		
10,37	10,2	7,7	2,1	1,6	2943	0,0	0,05
10	13,9	10,4	1,7	1,3	3486	0,0	0,0
20	10,8	8,1	0,7	0,5	4196	0,0	0,0
30	8,9	6,7	1,1	0,8	3471	0,0	0,0
40	13,0	9,8	2,1	1,6	3763	0,0	0,0
50	15,4	11,6	2,5	1,9	4410	0,0	0,0
10,38	15,8	11,9	1,5	1,1	4165		
10	14,6	11,0	1,2	0,9	4735		
20	10,9	8,2	0,6	0,5	5690		
30	11,6	8,7	1,0	0,8	4928		
40	8,9	6,7	0,9	0,7	3564		
50	10,4	7,8	1,4	1,1	3364		
10,39	10,4	7,8	1,0	0,8	3457		
10	8,7	6,5	1,0	0,8	2964		
20	10,9	8,2	2,4	1,8	3081		
30	16,3	12,2	2,6	2,0	3225		
40	15,9	11,9	1,6	1,2	2931		
50	10,5	7,9	0,3	0,2	2462		
10,40	9,3	7,0	1,0	0,8	2848		
10	11,6	8,7	2,5	1,9	2660		
20	14,8	11,1	2,8	2,1	2396		
30	16,5	12,4	3,0	2,3	2264		
40	16,6	12,5	1,9	1,4	2396		
50	12,7	9,5	0,5	0,4	2286		
10,41	9,1	6,8	1,0	0,8	2154		
10	8,9	6,7	1,2	0,9	2418		
20	15,1	11,3	3,9	2,9	2749		
30	24,7	18,5	6,8	5,1	3130		
40	24,9	18,7	7,1	5,3	2240		

50	23,4	17,6	3,9	2,9	1451		
10,42	18,2	13,7	1,5	1,1	1561		
10	11,3	8,5	1,1	0,8	2119		
20	11,7	8,8	1,9	1,4	2671		
30	11,3	8,5	1,5	1,1	2825		
40	11,4	8,6	1,6	1,2	3143		
50	12,2	9,2	1,7	1,3	3964		
10,43	13,5	10,1	1,3	1,0	3841		
10	9,0	6,8	0,7	0,5	3610		
20	9,1	6,8	0,7	0,5	3213		
30	8,9	6,7	2,0	1,5	3135		
40	14,6	11,0	2,0	1,5	3211		
50	13,2	9,9	2,0	1,5	3030		
10,44	13,7	10,3	1,7	1,3	2991		
10	11,0	8,3	1,8	1,4	2726		
20	12,8	9,6	7,5	5,6	2814		
30	19,6	14,7	5,5	4,1	2638		
40	18,1	13,6	5,0	3,8	2817		
50	17,1	12,8	6,4	4,8	1995		
10,45	18,4	13,8	6,1	4,6	2251		
10	21,3	16,0	9,9	7,4	3100		
20	24,9	18,7	8,2	6,2	2651		
30	20,5	15,4	2,7	2,0	2396		
40	16,7	12,5	2,7	2,0	2407		
50	14,9	11,2	1,5	1,1	2561		
10,46	11,0	8,3	0,9	0,7	2143		
10	9,5	7,1	1,8	1,4	2573		
20	14,2	10,7	3,1	2,3	3318		
30	15,4	11,6	2,4	1,8	3210		
40	14,7	11,0	1,4	1,1	2897		
50	9,3	7,0	0,8	0,6	3108		
10,47	7,5	5,6	0,9	0,7	3520		
10	10,7	8,0	2,4	1,8	3505		
20	16,8	12,6	3,5	2,6	3685		
30	18,4	13,8	2,5	1,9	3488		
40	18,6	14,0	3,2	2,4	3348		
50	18,7	14,0	2,3	1,7	3886		
10,48	12,6	9,5	0,4	0,3	3825		
10	8,5	6,4	0,1	0,1	2501		
20	5,5	4,1	0,1	0,1	1683		
30	3,4	2,6	0,0	0,0	1896		
40	4,0	3,0	0,0	0,0	3688		
50	4,2	3,2	0,4	0,3	2462		
10,49	8,1	6,1	2,3	1,7	2803		
10	11,9	8,9	2,8	2,1	2871		
20	15,3	11,5	2,1	1,6	3733		
30	13,7	10,3	1,0	0,8	3717		
40	12,1	9,1	2,1	1,6	3272		
50	13,9	10,4	2,0	1,5	3747		
10,50	11,6	8,7	0,4	0,3	3365		
10	8,2	6,2	0,5	0,4	2947		
20	9,6	7,2	1,6	1,2	3304		
30	11,2	8,4	1,3	1,0	3795		
40	11,9	8,9	2,5	1,9	3580		
50	15,1	11,3	2,4	1,8	3702		
10,51	16,7	12,5	2,0	1,5	4350	2,6	1,95

	10	15,4	11,6	1,6	1,2	3840	2,6	1,95
	20	12,5	9,4	0,9	0,7	4481	2,6	1,95
	30	14,7	11,0	2,5	1,9	4596	2,6	1,95
	40	14,4	10,8	1,9	1,4	3431	2,6	1,95
	50	17,1	12,8	3,0	2,3	2958	2,6	1,95
	10,52	21,0	15,8	2,7	2,0	2832		
	10	18,3	13,7	2,5	1,9	2925		
	20	19,4	14,6	3,5	2,6	2782		
	30	22,0	16,5	2,6	2,0	2616		
	40	14,0	10,5	0,2	0,2	2429		
	50	11,0	8,3	0,0	0,0	1316		
	10,53	6,7	5,0	0,1	0,1	930		
	10	4,9	3,7	0,0	0,0	795		
	20	3,9	2,9	0,0	0,0	715		
	30	2,2	1,7	0,0	0,0	628		
	40	4,4	3,3	1,7	1,3	1489		
	50	12,4	9,3	2,9	2,2	2990		
	10,54	14,0	10,5	2,6	2,0	3609	0,0	0,05
	10	15,0	11,3	2,5	1,9	3932	0,0	0,0
	20	17,4	13,1	3,7	2,8	4456	0,0	0,0
	30	19,8	14,9	3,2	2,4	4011	0,0	0,0
	40	19,4	14,6	3,3	2,5	3980	0,0	0,0
	50	19,9	14,9	3,4	2,6	4579	0,0	0,0
	10,55	21,5	16,1	2,6	2,0	5598		
	10	24,0	18,0	5,2	3,9	6035		
	20	29,5	22,1	4,8	3,6	6426		
	30	21,7	16,3	1,4	1,1	4319		
	40	17,9	13,4	2,5	1,9	3317		
	50	16,5	12,4	2,6	2,0	2860		
	10,56	20,4	15,3	4,1	3,1	2918		
	10	23,9	17,9	4,4	3,3	3166		
	20	27,5	20,6	6,1	4,6	3505		
	30	28,7	21,5	4,0	3,0	3918		
	40	24,6	18,5	2,7	2,0	4425		
	50	18,7	14,0	1,9	1,4	3826		
	10,57	16,1	12,1	1,5	1,1	3535		
	10	11,7	8,8	0,4	0,3	2611		
	20	8,4	6,3	0,1	0,1	1473		
	30	5,8	4,4	0,0	0,0	985		
	40	5,2	3,9	0,0	0,0	749		
	50	4,2	3,2	0,0	0,0	708		
	10,58	2,3	1,7	0,1	0,1	668		
	10	2,2	1,7	0,0	0,0	572		
	20	1,5	1,1	0,1	0,1	478		
	30	2,1	1,6	0,0	0,0	394		
	40	1,5	1,1	0,0	0,0	484		
	50	2,2	1,7	0,0	0,0	542		
	10,59	1,7	1,3	0,0	0,0	479	17,8	13,35
	10	1,6	1,2	0,0	0,0	446	17,8	13,35
	20	2,0	1,5	0,0	0,0	413	17,8	13,35
	30						17,8	13,35
	40						17,8	13,35
	50						17,8	13,35
Massimo		29,50	22,13	9,90	7,43	11578,00	17,80	13,35
Minimo		0,10	0,08	0,00	0,00	394,00	0,00	0,00
Deviazione ST		7,32	5,49	1,73	1,29	1809,97	6,18	4,63

Moda	0,80	0,60	0,00	0,00	2418,00	0,00	0,00
Media	9,13	6,85	1,33	1,00	3334,80	5,10	2,47
Coeff. Di Var.	0,80	0,80	1,30	1,30	0,54	1,21	1,88

Soriano 09/02/2006

I Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
9,36	1,6	1,2	0,3	0,2	3589		
10	1,5	1,1	0	0,0	2960		
20	1,7	1,3	0	0,0	2971		
30	1,1	0,8	0	0,0	2605		
40	2,4	1,8	0	0,0	2264		
50	2,3	1,7	0,3	0,2	2198		
9,97	2,7	2,0	0,3	0,2	1684		
10	4,9	3,7	0,8	0,6	1198		
20	7,5	5,6	1	0,8	1000		
30	7,7	5,8	0,5	0,4	890		
40	6	4,5	0,2	0,2	633		
50	6,1	4,6	0,4	0,3	420		
9,38	6,1	4,6	0,2	0,2	490		
10	6,1	4,6	0,5	0,4	676		
20	6,2	4,7	0,2	0,2	650		
30	6,4	4,8	0,2	0,2	560		
40	9	6,8	0,9	0,7	353		
50	10,1	7,6	0,3	0,2	278		
9,39	8,7	6,5	0,9	0,7	928		
10	15,9	11,9	4	3,0	1066		
20	25,6	19,2	4,1	3,1	821		
30	16,8	12,6	1,1	0,8	518		
40	14,6	11,0	1,4	1,1	395		
50	11	8,3	0,6	0,5	565		
9,40	9,6	7,2	1	0,8	578		
10	23,7	17,8	3,6	2,7	748		
20	20,4	15,3	1,5	1,1	614		
30	15,2	11,4	0,6	0,5	440		
40	10,4	7,8	0,3	0,2	234		
50	11,9	8,9	0,9	0,7	243		
9,41	11,5	8,6	0,8	0,6	168		
10	12,5	9,4	0,8	0,6	181		
20	12,5	9,4	1,4	1,1	187		
30	19,7	14,8	2,5	1,9	150		
40	15,3	11,5	0,6	0,5	126		
50	12,9	9,7	0,8	0,6	207		
9,42	9,9	7,4	0,2	0,2	298		
10	8,9	6,7	0,7	0,5	152		
20	9,6	7,2	0,4	0,3	233		
30	10	7,5	0,6	0,5	685		
40	13,4	10,1	1,8	1,4	471		

	50	14,4	10,8	0,7	0,5	109		
	9,43	10,6	8,0	0,5	0,4	36	1,8	1,4
	10	8,3	6,2	0,2	0,2	96	1,8	1,4
	20	10,4	7,8	0,8	0,6	42	1,8	1,4
	30	9,3	7,0	0,2	0,2	60	1,8	1,4
	40	7,2	5,4	0	0,0	6	1,8	1,4
	50	8,1	6,1	1	0,8	0	1,8	1,4
	9,44	14,4	10,8	1,3	1,0	0		
	10	13,2	9,9	0,8	0,6	0		
	20	13,6	10,2	0,8	0,6	147		
	30	14,6	11,0	1,4	1,1	458		
	40	14,8	11,1	0,9	0,7	510		
	50	15,2	11,4	1,5	1,1	328		
	9,45	17,7	13,3	1,2	0,9	292		
	10	13,3	10,0	0,6	0,5	187		
	20	10,9	8,2	0,8	0,6	333		
	30	14	10,5	1,8	1,4	814		
	40	21,4	16,1	3	2,3	1275		
	50	30,1	22,6	4,7	3,5	1011		
	9,46	35,7	26,8	6	4,5	896	0,9	0,7
	10	95,7	71,8	17,9	13,4	728	0,9	0,7
	20	154,8	116,1	20,8	15,6	859	0,9	0,7
	30	136,3	102,2	13,7	10,3	1039	0,9	0,7
	40	145,8	109,4	18,3	13,7	1051	0,9	0,7
	50	100,2	75,2	5,5	4,1	1090	0,9	0,7
	9,47	61	45,8	3,7	2,8	434		
	10	47,6	35,7	3,5	2,6	255		
	20	34,5	25,9	2	1,5	169		
	30	27,7	20,8	2,3	1,7	196		
	40	24,7	18,5	2,4	1,8	90		
	50	20,1	15,1	1,3	1,0	96		
	9,48	18,7	14,0	200	150,0	78		
	10	18,7	14,0	1,6	1,2	30		
	20	13,7	10,3	1,1	0,8	409		
	30	13,4	10,1	1,4	1,1	790		
	40	13,5	10,1	1,2	0,9	565		
	50	10,2	7,7	0,7	0,5	140		
	9,49	10,9	8,2	1,2	0,9	0		
	10	12	9,0	1	0,8	0		
	20	15,3	11,5	1,4	1,1	42		
	30	11,4	8,6	0,6	0,5	24		
	40	9,5	7,1	0,6	0,5	0		
	50	10,5	7,9	0,9	0,7	0		
	9,50	10,3	7,7	0,4	0,3	0		
	10	8,6	6,5	0,5	0,4	0		
	20	10,6	8,0	1,4	1,1	0		
	30	18,6	14,0	1,9	1,4	0		
	40	16	12,0	0,9	0,7	0		
	50	12,6	9,5	0,6	0,5	0		
	9,51	9,4	7,1	0,4	0,3	0	2,1	1,6
	10	9,1	6,8	0,8	0,6	0	2,1	1,6
	20	12,7	9,5	0,8	0,6	0	2,1	1,6
	30						2,1	1,6
	40						2,1	1,6
	50						2,1	1,6
Massimo		154,8	116,1	200,0	150,0	3589,0	2,1	1,6

Minimo	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0
Deviazione ST	14,8	16,5	18,0	18,7	303,9	320,1	339,1
Moda	0,5	2,5	0,5	0,8	0,5	0,4	0,0
Media	19,6	8,1	4,0	8,6	75,9	1,6	96,0
Coeff. Di Var.	0,75	2,04	4,46	2,17	4,00	200,06	3,53

Tre Croci 17/02/2006

I Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
9,40	0,0	0,0	0,0	0,0	359,0		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	36,0		
20	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0		
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
40	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0		
50	0,1	0,1	0,0	0,0	18,0		
9,41	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
20	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0		
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
50	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0		
9,42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
20	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
40	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
50	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
9,43	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
10	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0		
20	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
30	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0		
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
9,44	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
30	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0		
40	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
50	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0		
9,45	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01
10	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9,46	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0		
10	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0		

20	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
50	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0
9,47	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
10	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
20	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
50	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
9,48	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
10	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
20	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
30	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0
40	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
50	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
9,49	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
10	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0
20	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0
30	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
50	1,1	0,8	0,0	0,0	0,0
9,50	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
10	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
20	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
40	1,2	0,9	0,0	0,0	0,0
50	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
9,51	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9,52	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
10	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
20	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
30	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
50	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
9,53	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
10	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
20	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
50	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0
9,54	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
20	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
40	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
50	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
9,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0

40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
9,56	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
10	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
20	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
9,57	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0
10	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
40	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
50	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
9,58	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9,59	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
20	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0
50	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
10,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
20	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
30	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
10,01	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0
10,02	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
10	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
20	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
40	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
50	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0
10,03	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
10	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
20	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	72,0
10,04	0,0	0,0	0,0	0,0	54,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	96,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	48,0
30	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0
50	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0

10,05	0,9	0,7	0,0	0,0	0,0
10	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
20	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
50	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0
10,06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
20	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10,07	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
10	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
20	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10,08	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,7	0,5	0,5	0,4	0,0
30	7,1	5,3	1,8	1,4	0,0
40	18,0	13,5	2,1	1,6	12,0
50	25,5	19,1	1,5	1,1	120,0
10,09	15,3	11,5	0,4	0,3	132,0
10	10,9	8,2	0,3	0,2	18,0
20	8,2	6,2	0,6	0,5	0,0
30	7,9	5,9	1,1	0,8	0,0
40	7,7	5,8	1,0	0,8	0,0
50	7,5	5,6	0,7	0,5	0,0
10,10	4,3	3,2	0,2	0,2	0,0
10	5,0	3,8	0,3	0,2	0,0
20	5,1	3,8	0,7	0,5	0,0
30	14,7	11,0	1,7	1,3	0,0
40	9,9	7,4	0,5	0,4	0,0
50	6,7	5,0	0,2	0,2	0,0
10,11	2,3	1,7	0,1	0,1	0,0
10	1,6	1,2	0,1	0,1	0,0
20	1,5	1,1	0,0	0,0	0,0
30	1,1	0,8	0,0	0,0	0,0
40	2,3	1,7	0,4	0,3	0,0
50	2,8	2,1	0,7	0,5	0,0
10,12	1,8	1,4	0,1	0,1	0,0
10	0,9	0,7	0,0	0,0	0,0
20	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
10,13	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
10	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
20	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
10,14	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
30	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0		
40	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0		
50	0,9	0,7	0,0	0,0	0,0		
10,15	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0		
10	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0		
20	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0		
30	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0		
40	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0		
50	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0		
10,16	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0		
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
40	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0		
50	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0		
10,17	0,9	0,7	0,0		0,0		
Massimo	25,5	19,1	2,1	1,6	359,0	0,0	0,0
Minimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Deviazione ST	2,9	2,2	0,3	0,2	28,3	0,0	0,0
Moda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Media	1,0	0,7	0,1	0,1	4,3	0,0	0,0
Coeff. Di Var.	2,94	2,94	4,11	4,10	6,55	-	2,45

Vetralla 18/02/2006

I Rilevamento

ppm

Ora	CO	CO TWA	VOC	VOC TWA	CO_2	Benzene	Benzene TWA
9,08	0,2	0,2	0,5	0,4	1400		
10	0,0	0,0	0,3	0,2	894		
20	0,0	0,0	0,4	0,3	894		
30	0,0	0,0	0,3	0,2	810		
40	0,1	0,1	0,4	0,3	858		
50	0,4	0,3	0,4	0,3	870		
9,09	0,1	0,1	0,5	0,4	1202		
10	0,2	0,2	0,4	0,3	1209		
20	0,0	0,0	0,5	0,4	1088		
30	0,1	0,1	0,6	0,5	1045		
40	0,1	0,1	0,6	0,5	958		
50	0,2	0,2	0,6	0,5	947		
9,10	0,0	0,0	0,7	0,5	930		
10	0,0	0,0	1,3	1,0	901		
20	0,0	0,0	1,2	0,9	1187		
30	0,1	0,1	0,9	0,7	1264		
40	0,1	0,1	0,7	0,5	990		
50	0,0	0,0	1,0	0,8	972		
9,11	0,1	0,1	0,9	0,7	965	0,0	0,05
10	0,2	0,2	0,8	0,6	979	0,0	0,0

20	0,0	0,0	1,0	0,8	1198	0,0	0,0
30	0,0	0,0	0,8	0,6	1096	0,0	0,0
40	0,3	0,2	1,0	0,8	955	0,0	0,0
50	0,4	0,3	0,9	0,7	1275	0,0	0,0
9,12	0,3	0,2	0,8	0,6	1352		
10	0,0	0,0	0,9	0,7	1220		
20	0,1	0,1	1,2	0,9	1066		
30	0,0	0,0	1,2	0,9	994		
40	0,0	0,0	1,1	0,8	1418		
50	0,0	0,0	1,0	0,8	1440		
9,13	0,0	0,0	0,8	0,6	1143	0,0	0,05
10	0,1	0,1	0,8	0,6	1385	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,8	0,6	1374	0,0	0,0
30	0,1	0,1	0,7	0,5	962	0,0	0,0
40	0,0	0,0	1,3	1,0	852	0,0	0,0
50	0,0	0,0	1,2	0,9	677	0,0	0,0
9,14	0,1	0,1	1,0	0,8	658		
10	0,0	0,0	1,0	0,8	928		
20	0,0	0,0	1,1	0,8	896		
30	0,2	0,2	1,1	0,8	743		
40	0,0	0,0	0,9	0,7	756		
50	0,0	0,0	1,0	0,8	931		
9,15	0,1	0,1	0,9	0,7	1187		
10	0,3	0,2	0,8	0,6	889		
20	0,0	0,0	0,5	0,4	714		
30	0,2	0,2	0,5	0,4	1496		
40	0,0	0,0	0,7	0,5	2406		
50	0,2	0,2	0,7	0,5	1330		
9,16	0,0	0,0	0,5	0,4	796		
10	0,0	0,0	1,1	0,8	632		
20	0,0	0,0	0,9	0,7	546		
30	0,0	0,0	0,9	0,7	328		
40	0,2	0,2	0,8	0,6	407		
50	0,0	0,0	0,5	0,4	530		
9,17	0,0	0,0	0,8	0,6	458		
10	0,2	0,2	0,8	0,6	584		
20	0,0	0,0	0,6	0,5	572		
30	0,0	0,0	0,7	0,5	584		
40	0,1	0,1	0,5	0,4	497		
50	0,5	0,4	0,4	0,3	499		
9,18	0,0	0,0	0,7	0,5	304		
10	0,0	0,0	0,6	0,5	243		
20	0,0	0,0	0,6	0,5	201		
30	0,0	0,0	0,5	0,4	222		
40	0,4	0,3	1,4	1,1	201		
50	3,5	2,6	1,0	0,8	168		
9,19	2,6	2,0	0,9	0,7	169	0,0	0,05
10	3,6	2,7	1,0	0,8	208	0,0	0,0
20	3,2	2,4	0,9	0,7	236	0,0	0,0
30	1,2	0,9	1,0	0,8	84	0,0	0,0
40	3,6	2,7	1,8	1,4	72	0,0	0,0
50	8,6	6,5	2,0	1,5	292	0,0	0,0
9,20	9,9	7,4	2,9	2,2	233		
10	5,6	4,2	2,5	1,9	412		
20	3,8	2,9	3,1	2,3	286		
30	8,1	6,1	1,9	1,4	358		

40	7,9	5,9	1,5	1,1	292		
50	8,3	6,2	1,7	1,3	421		
9,21	4,8	3,6	1,2	0,9	395		
10	2,2	1,7	1,1	0,8	571		
20	0,9	0,7	0,8	0,6	671		
30	1,1	0,8	1,1	0,8	548		
40	0,6	0,5	1,1	0,8	639		
50	0,8	0,6	1,1	0,8	1107		
9,22	0,2	0,2	1,2	0,9	1693		
10	0,4	0,3	1,4	1,1	1242		
20	0,1	0,1	1,6	1,2	1099		
30	0,0	0,0	0,9	0,7	915		
40	0,3	0,2	0,7	0,5	804		
50	0,0	0,0	1,2	0,9	701		
9,23	0,2	0,2	1,2	0,9	722		
10	0,0	0,0	0,5	0,4	616		
20	0,0	0,0	0,7	0,5	459		
30	0,0	0,0	1,0	0,8	660		
40	0,0	0,0	1,0	0,8	817		
50	0,3	0,2	0,9	0,7	1385		
9,24	0,2	0,2	1,1	0,8	900		
10	0,3	0,2	0,8	0,6	622		
20	0,3	0,2	1,0	0,8	458		
30	1,6	1,2	0,9	0,7	510		
40	5,0	3,8	2,3	1,7	644		
50	4,0	3,0	1,0	0,8	650		
9,25	1,7	1,3	0,9	0,7	521		
10	0,8	0,6	0,9	0,7	376		
20	0,5	0,4	1,0	0,8	322		
30	0,0	0,0	0,9	0,7	316		
40	0,2	0,2	1,1	0,8	292		
50	0,3	0,2	1,1	0,8	221		
9,26	0,3	0,2	0,9	0,7	144	2,5	1,9
10	0,0	0,0	0,9	0,7	121	2,5	1,9
20	0,3	0,2	0,8	0,6	364	2,5	1,9
30	2,1	1,6	1,5	1,1	412	2,5	1,9
40	3,3	2,5	1,4	1,1	424	2,5	1,9
50	1,8	1,4	1,2	0,9	364	2,5	1,9
9,27	1,6	1,2	1,3	1,0	447		
10	0,6	0,5	1,0	0,8	478		
20	3,7	2,8	2,8	2,1	214		
30	5,0	3,8	2,3	1,7	156		
40	6,1	4,6	1,7	1,3	78		
50	6,0	4,5	1,6	1,2	12		
9,28	4,8	3,6	1,6	1,2	36		
10	3,7	2,8	1,8	1,4	204		
20	4,9	3,7	1,4	1,1	377		
30	6,7	5,0	2,1	1,6	628		
40	6,3	4,7	1,5	1,1	822		
50	4,6	3,5	0,9	0,7	602		
9,29	3,3	2,5	1,1	0,8	310		
10	3,8	2,9	1,2	0,9	280		
20	6,8	5,1	1,5	1,1	340		
30	4,8	3,6	1,5	1,1	407		
40	3,2	2,4	2,0	1,5	778		
50	7,6	5,7	1,9	1,4	629		

9,30	6,3	4,7	3,0	2,3	407	6,8	5,1
10	7,3	5,5	1,4	1,1	370	6,8	5,1
20	4,6	3,5	1,0	0,8	328	6,8	5,1
30	2,0	1,5	0,9	0,7	472	6,8	5,1
40	1,0	0,8	0,9	0,7	834	6,8	5,1
50	0,3	0,2	1,1	0,8	1187	6,8	5,1
9,31	0,3	0,2	0,9	0,7	906		
10	0,1	0,1	1,0	0,8	548		
20	0,0	0,0	1,0	0,8	473		
30	0,2	0,2	1,1	0,8	304		
40	0,3	0,2	1,1	0,8	670		
50	0,6	0,5	0,9	0,7	1561		
9,32	0,1	0,1	1,0	0,8	1012		
10	0,1	0,1	0,9	0,7	428		
20	0,3	0,2	1,0	0,8	235		
30	0,0	0,0	1,0	0,8	262		
40	0,0	0,0	0,9	0,7	78		
50	0,2	0,2	0,8	0,6	0		
9,33	0,1	0,1	0,9	0,7	18		
10	0,0	0,0	0,8	0,6	60		
20	0,1	0,1	0,7	0,5	60		
30	0,1	0,1	0,8	0,6	30		
40	0,0	0,0	0,7	0,5	0		
50	0,0	0,0	0,7	0,5	0		
Massimo	9,9	7,4	3,1	2,3	2406,0	6,8	5,1
Minimo	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
Deviazione ST	2,3	1,7	0,5	0,4	424,7	2,7	2,0
Moda	0,0	0,0	0,9	0,7	1187,0	0,0	0,0
Media	1,4	1,0	1,1	0,8	655,7	1,9	1,4
Coeff. Di Var.	1,66	1,66	0,48	0,48	0,65	1,45	1,44

Ringraziamenti

Per la stesura di questa tesi si ringrazia il Dott. Francesco Marchi, la Dott.sa Giuseppina Meneghini, che grazie al loro contributo pratico ed intellettuale, hanno reso possibile la stesura del presente lavoro.

Un vivo ringraziamento va anche ai tecnici sig. Pietro Antonini e ai sigg. Lamberto e Vincenzo Vento del laboratorio di "Macchine e Aeronautica" dell'università della Sapienza, nonché all' Ing. Dott. Roberto Capata, responsabile del suddetto laboratorio, al Prof. Ing. Maurizio Carlini, docente del dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle Sue Risorse della facoltà di Agraria dell'Università della Tuscia e all'Ing. Antonello Binni

Un sentito ringraziamento, è rivolto anche al Dott. Massimo Giordano responsabile della ditta Alpina s.p.a., per la consulenza e per aver fornito le macchine impiegate durante le prove in oggetto.

Si ringraziano infine l'Ing. Mario Rigoli del CFS (Corpo Forestale dello Stato) che ha consentito di condurre la sperimentazione presso la riserva naturale delle "Saline di Tarquinia", il Sig. Angelo Bocci, la ditta "Piangoli", l'Azienda Forestale di Piedipaterno, il Sig. Silvestri e Grifoni per aver acconsentito all'accesso presso le proprie attività, al fine di condurre la Sperimentazione.

Preziosa è stata anche la collaborazione del Sig. Roberto Rapiti, e del Sig. Adolfo Bruzzichini per il tempo e la professionalità messi a disposizione.

Si ringraziano inoltre le ditte McCulloch, Partner, Husqvarna, Castrol Italia, Stihl che hanno fornito macchine e prodotti necessari allo svolgimento dei test.

Ringrazio infine tutti i miei familiari, colleghi ed amici che mi hanno sopportato e che mi sono stati vicini nel corso di questi tre anni di dottorato.

Salmo 126 Ogni fatica è vana senza il Signore

Né chi Pianta, né chi irriga è qualcosa, ma è Dio che fa crescere. Voi siete il campo di Dio, l’edificio di Dio

Se il Signore non costruisce la casa, *
invano vi faticano i costruttori.
Se la città non è custodita dal Signore *
invano veglia il custode.

Invano vi alzate di buon mattino, †
tardi andate a riposare
e mangiate pane di sudore: *
il Signore ne darà ai suoi amici nel sonno.

Ecco, dono del Signore sono i figli, *
è sua grazia il frutto del grembo.
Come frecce in mano a un eroe *
sono i figli della giovinezza.

Beato l'uomo *
che piena ne ha la faretra:
non resterà confuso quando verrà alla porta *
a trattare con i propri nemici.

Gloria al Padre e al Figlio *
e allo Spirito Santo.
Come era nel principio, e ora e sempre *
nei secoli dei secoli. Amen.